

## ANTENNE CONFIGURABLE ET ORIENTABLE, STATION DE BASE CORRESPONDANTE

5 La présente invention concerne une antenne  
radioélectrique qui permet de configurer dans l'espace un ou  
des lobes ou faisceaux, ces termes étant ici équivalents,  
d'émission/réception d'ondes électromagnétiques et donc de  
configurer son diagramme radiatif. Elle trouve des  
10 applications dans le domaine des transmissions/réception en  
ondes électromagnétiques radio et notamment en tant  
qu'antenne de téléphonie mobile. Elle permet notamment la  
conformation et la commutation de faisceaux ou lobes  
radioélectriques au sein d'une station de base d'un réseau de  
15 téléphonie ou de transmissions de données de  
radiocommunication avec des stations mobiles aussi bien en  
émission qu'en réception (E/R).

De façon générale, pour réaliser une antenne directive  
orientable, on réalise d'une part une antenne structurellement  
20 directive et, d'autre part, on la déplace pour l'orienter dans  
l'espace, en général en rotation, afin que son diagramme de  
rayonnement électromagnétique soit orienté selon la direction  
souhaitée. Outre le fait que le déplacement mécanique de  
l'antenne nécessite des moyens mécaniques qui peuvent être  
25 coûteux, s'usent et sont complexes à entretenir, les antennes  
étant généralement en des points hauts et dans un  
environnement climatique rigoureux, le diagramme de  
rayonnement reste identique dans sa forme tout au long de la  
rotation.

30 Il est donc souhaitable de disposer de moyens non  
mécaniques permettant de modifier l'orientation du  
diagramme de rayonnement dans l'espace. De plus il apparaît  
également souhaitable de pouvoir modifier la structure du  
diagramme de rayonnement, notamment le nombre de lobes  
35 d'émission/réception et/ou leurs formes dans l'espace.

En effet, par exemple dans le cas des nouveaux services de radiocommunication haut débit, il apparaît que seuls les systèmes dynamiques pourvus d'antennes intelligentes permettront une utilisation optimale du spectre hertzien en utilisant des capacités d'adaptation de configuration spatiale d'émission/réception comme l'on montré les articles "The path towards UMTS - Technologies for the information society", UMTS Forum 1998 et, "Une vue globale du concept d'UMTS", S. Breyer, G. Dega, V. Kumar et L. Szabo, de la société Alcatel.

Ces antennes intelligentes offrent la possibilité d'augmenter la capacité des systèmes fonctionnant notamment en CDMA ("Code-Division-Multiple-Access") grâce à l'utilisation d'une technique de pseudo-SDMA ("Spatial-Division-Multiple Access") selon des modalités connues telles que décrites dans l'article "Smart antennas enhance cellular/PCS performance, part 1 & 2", C.B. Dietrich Jr. et WL Stutzman, dans Microwaves & RF, avril 1997. Cette technique permet de réduire les interférences "co-canal" dans la liaison descendante (station de base vers mobile) des réseaux cellulaires en formant un faisceau directif dirigé vers le mobile. Elle permet également une réjection des interférences dans la liaison montante (mobile vers station base) avec en plus la possibilité de former le diagramme de l'antenne de la station de base pour qu'il présente un creux de réception dans la direction des interférences.

On distingue généralement deux catégories d'antennes dites intelligentes et qui ont un diagramme de rayonnement modulable: celles réalisées avec des réseaux d'antennes à commutation de faisceaux et celles réalisées avec des antennes adaptatives comme cela a été présenté dans "Experiments on adaptative array diversity transceiver for base station application in W-CDMA mobile radio" par M. Sawahashi et S. Tanaka lors de AP-S 2000, Salt Lake City, USA, juillet 2000.

Les antennes intelligentes réalisées avec des antennes adaptatives sont généralement constituées d'un réseau d'éléments rayonnants commandé par un processeur de signaux numériques (ou DSP, pour "Digital Signal Processor"). Elles peuvent adapter automatiquement leur diagramme de rayonnement en fonction des signaux extérieurs reçus.

Malheureusement, la technologie numérique actuelle n'apparaît pas assez mature pour supporter les multiples bandes de fréquence nécessaires dans la téléphonie mobile, ainsi que les puissances nécessaires pour maîtriser ce spectre radio. De plus, la technologie des antennes intelligentes adaptatives et numériques n'est pas très adaptée à la technologie existante dans les stations de base (ou BTS, pour "Base Tranceiver Station") et donc demanderait un investissement trop important pour renouveler ces dernières comme cela a été constaté dans la présentation de M. Sawahashi citée précédemment.

Les antennes intelligentes réalisées avec des antennes à commutation de faisceaux utilisent la synthèse analogique de faisceaux multiples. Cette approche conserve la plupart des caractéristiques des antennes intelligentes numériques, avec toutefois une complexité et un coût beaucoup plus faible. Elle est compatible avec les infrastructures existantes (notamment les stations de base) et permet une augmentation significative de la capacité du réseau par rapport à l'investissement. Traditionnellement, les antennes à commutation de faisceaux utilisent un réseau d'alimentation à phase prédéfinie qui fournit plusieurs ports de sortie correspondant, chacun, à un faisceau de direction fixée. Des stations de base de ce type ont été expérimentées par de nombreuses sociétés aux Etats-Unis et en Europe, notamment par: Celwave associé à BellSouth, Hazeltine Corp., Metawave Communications, ArrayConun Inc., Ericsson, Nortel, ... Outre les articles et la présentation précédemment mentionnés, des

informations à ce sujet sont également disponibles dans  
"Novel multiple-beam antenna array serves mobile BTS, part  
1", - L. Cellai et A. Ferrarotti, Microwaves & RF, août 1999 ou  
dans "Array antenna design for base station applications", B.  
5 Johannisson et A. Derneryd, Ericsson Microwave Systems AB.

L'inconvénient principal de cette technologie à  
commutation de faisceaux est le nombre élevé d'éléments  
rayonnants et donc son coût. Il a donc été proposé d'utiliser  
une solution alternative pour réaliser des antennes à type de  
10 commutation de faisceaux en plaçant un élément rayonnant  
passif au cœur d'un ensemble de tiges en matériau à bande  
interdite photonique (abrégé en BIP), certaines de ces tiges  
étant rendues actives par l'insertion de composants de  
commutation permettant, par une commande appropriée,  
15 d'imposer aux tiges de se comporter pour certaines comme  
des tiges discontinues et pour d'autres comme des tiges  
continues qui présentent des caractéristiques  
radioélectriques différentes des précédentes. Des information  
à ce sujet sont disponibles dans la présentation "Beam  
20 switching smart antenna for hyperlan terminals" par A.  
Chelouah, A. Sibille, C. Roblin, lors de AP2000, Davos, avril  
2000, ou, encore, dans l'article de E. Yablonovitch dans  
Physical Review Letters, vol. 58, n°20, 1987, p2059-2062.

Cette solution alternative n'implique pas d'action directe  
25 sur le circuit d'excitation de l'élément rayonnant mais  
seulement sur des éléments de son environnement proche,  
limitant ainsi les pertes. Elle est obtenue en utilisant les  
propriétés des matériaux à Bande Interdite Photonique (BIP)  
qui sont déjà connus et pour lesquels des articles ont été  
30 publiés, notamment : "Photonic Band Gaps in experimentally  
realizable periodic dielectric structures", C.T. Chan, K.M. Ho  
et C.M. Soukoulis, Europhysics Letters, 16(6), pp563-568, 7  
octobre 1991 ; ou "Metallic Photonic band-gap materials",  
M.M. Sigalas, C.T. Chan, K.M. Ho et C.M. Soukoulis, Physical  
35 Review B, vol. 52, n°16, 15 octobre 1995 ; ou, enfin, "Active

**Metallic Photonic B and Gap materials (MPBG): experimental results on beam shaper", G. Poilasne, P. Pouliguen, K. MahdJoubi, L. Desclos et C. Terret, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, janvier 1999.**

- 5        L'ensemble des tiges formant le matériau BIP de ce type d'antenne est une structure périodique, appelée structure BIP, composée principalement de conducteurs parallèles et dans laquelle un élément rayonnant agit. Les caractéristiques électromagnétiques de cette structure BIP dépendent
- 10 principalement de la fréquence d'émission/réception de l'élément rayonnant. Sa réponse fréquentielle à une onde plane présente alternativement des bandes de fréquences autorisant ou non la propagation à travers la structure BIP. La dualité de réponse entre une structure BIP composée de tiges
- 15 continues et une structure BIP composée de tiges discontinues a été étudiée. Ces différences ont été exploitées pour obtenir la commutation et la conformation spatiale du diagramme de rayonnement par passage de l'une à l'autre, tiges continues ou discontinues, de ces structures BIP. C'est
- 20 ainsi que des présentations et articles ont été produits à ce sujet comme notamment : "Numerical and experimental demonstration of an electronically controllable PBG in the frequency range 0 to 20 GHz", par A. De Lustrac, T. Brillat, F. Gadot, E. Akmansoy, lors de AP2000, Davos, avril 2000 ; et
- 25 dans "Experimental radiation pattern of dipole inside metallic photonic band-gap materials", de G. Poilasne, P. Pouliguen, K. MahdJoubi, C. Terret, P. Gelin et L. Desclos, dans Microwave and Optical Technology Letters, vol. 22, issue 1, juillet 1999.
- 30        Actuellement, on utilise des structures BIP à mailles carrées. En d'autres termes, et comme illustré sur la figure 1 (coupe transversale par rapport à l'axe des tiges), les tiges 1 forment un quadrillage à mailles carrées au centre duquel se trouve l'élément rayonnant passif 2.

Il apparaît que cette structure BIP à mailles carrées présentent deux inconvénients majeurs. Tout d'abord, elle est mal adaptée aux excitations par ondes cylindriques, d'où une étude difficile lorsqu'un élément rayonnant est placé au milieu d'une structure BIP à mailles carrées. Par ailleurs, elle ne permet pas de créer un faisceau constant tournant sur 360° avec un pas et un angle quelconque.

L'invention qui est proposée a notamment pour objectif de pallier les inconvénients de l'état de la technique concernant les antennes du type mettant en œuvre un matériau à Bande Interdite Photonique (matériau BIP) et formant une structure déterminée que l'on peut qualifier de cristal photonique. L'antenne de l'invention peut être utilisée pour orienter (direction) et/ou conformer (forme) un unique faisceau ou bien plusieurs faisceaux simultanés. Elle peut aussi être utilisée pour conformer et commuter différents faisceaux: on pourra alors parler d'antenne à commutation de faisceaux.

A la base, l'antenne de l'invention se distingue des antennes à structure BIP connues par le fait que l'implantation des éléments (fils/barreaux) au sein de l'antenne et autour de l'élément rayonnant ne se fait pas selon un maillage carré mais selon une répartition le long de courbes fermées concentriques les unes aux autres au centre desquelles se trouve l'élément rayonnant. La forme des courbes fermées est de préférence circulaire (des cercles) mais elle peut être plus complexe notamment à type d'ellipse, cycloïde ou autres courbes arrondies. La forme des éléments composant l'antenne (élément rayonnant et/ou les fils/barreaux) est de préférence linéaire mais elle peut être différente et notamment courbe pour les fils/barreaux.

Ainsi, l'invention concerne une antenne permettant la conformation d'au moins un faisceau d'ondes radioélectriques d'au moins une longueur d'onde déterminée, du type comprenant au moins un élément rayonnant les ondes,



préférentiellement passif, placé dans un ensemble de fils ou barreaux réflecteurs de l'onde et sensiblement parallèles entre eux, réalisés dans un matériau à Bande Interdite Photonique (BIP) et formant une structure déterminée, ladite  
5 structure déterminée comportant des défauts de façon à conformer ledit au moins un faisceau dans une direction fonction de la position et/ou de la configuration desdits défauts.

Selon l'invention, les fils ou barreaux et les défauts sont  
10 disposés sur un ensemble de N courbes fermées concentriques d'un plan, N étant supérieur ou égal à un, l'élément rayonnant étant disposé à l'intérieur de la courbe la plus interne.

Dans divers modes de mise en œuvre de l'invention, les  
15 moyens suivants pouvant être combinés selon toutes les possibilités techniquement envisageables, sont employés:

- les courbes sont choisies parmi les cercles, les ellipses, les cycloïdes et, de préférence, sont toutes des cercles, l'élément rayonnant étant placé sensiblement au  
20 centre commun des cercles;

- la distance maximale séparant la courbe la plus interne (en pratique un fil/barreau sur la courbe la plus interne) et l'élément rayonnant est inférieure ou égale au quart de la longueur d'onde (de la plus petite longueur d'onde  
25 dans le cas où plusieurs longueurs d'ondes sont possibles),

- la distance séparant la courbe la plus interne et l'élément rayonnant est supérieure au quart de la longueur d'onde (de la plus petite longueur d'onde dans le cas où plusieurs longueurs d'ondes sont possibles), afin de réduire  
30 le poids et/ou le coût de réalisation et/ou de faciliter l'adaptation d'impédance, etc.

- la distance maximale séparant deux courbes contiguës successives (en pratique deux fils/barreaux voisins de deux courbes le long d'une direction passant par l'élément  
35 rayonnant) est inférieure ou égale au quart de la longueur

d'onde (de la plus petite longueur d'onde dans le cas où plusieurs longueurs d'ondes sont possibles),

-- les fils/barreaux ou défauts adjacents le long d'une courbe donnée sont disposés en des points équidistants transversalement (correspond à une période transverse constante dans le cas d'une courbe qui est un cercle);

- les distances transversales des fils/barreaux ou défauts adjacents sont toutes égales pour toutes les courbes (correspond à une période transverse constante et égale pour tous les cercles dans le cas de courbes qui sont des cercles);

- les courbes sont des cercles et les fils/barreaux ou défauts sont disposés en au moins deux cercles concentriques autour de l'élément rayonnant sensiblement central selon une répartition périodique transversale constante et égale pour tous les cercles;

- les fils/barreaux ou défauts sont disposés le long d'axes de distribution passant par l'élément rayonnant et dans le plan, en des points correspondant au croisement des courbes et des axes de distribution (correspond à une période angulaire constante et les fils/barreaux ou défauts sont disposés systématiquement ou non aux points de croisement des axes de distribution et des courbes);

- les axes de distribution sont régulièrement répartis dans le plan sur  $360^\circ$  et le divisent en secteurs angulaires égaux, la valeur d'un secteur angulaire étant préférentiellement de  $22,5^\circ$  ou un multiple de  $22,5^\circ$ ;

- les courbes sont des cercles et que les fils/barreaux ou défauts sont disposés en au moins deux cercles concentriques autour de l'élément rayonnant sensiblement central selon une répartition périodique angulaire constante et égale pour tous les cercles;

- les fils/barreaux ou défauts sont disposés selon une association de disposition à période transverse constante et de disposition à période angulaire constante,

- l'élément rayonnant est directionnel;



- l'élément rayonnant est omnidirectionnel et est de préférence un dipôle, ledit dipôle étant alors disposé sensiblement parallèlement aux fils/barreaux;

5 - l'élément rayonnant est omnidirectionnel et est de préférence un monopôle disposé sur un plan de masse, ledit monopôle étant alors disposé sensiblement parallèlement aux fils/barreaux, chacun des fils/barreaux étant relié à une de ses deux extrémités au plan de masse,

10 - dans le cas d'un monopôle et de fils/barreaux à segments conducteurs séparés par des isolants comportant ou formés de composants actifs commutables, les fils/barreaux sont reliés au plan de masse par les isolants,

15 - dans le cas d'un monopôle et de fils/barreaux à segments conducteurs séparés par des isolants comportant ou formés de composants actifs commutables, les fils/barreaux sont reliés au plan de masse par les segments ;

- les fils/barreaux sont droits;

- les fils/barreaux sont courbes;

20 - les fils/barreaux ont des parties droites, en cercles, ellipses, triangles, carrés ou rectangles;

- les défauts sont réalisés par le retrait au moins partiel de certains desdits fils/barreaux, le au moins un faisceau étant conformé dans une direction fonction de la position et/ou de la configuration des fils/barreaux retirés;

25 - au moins certains des fils/barreaux sont chacun constitués d'au moins deux segments conducteurs, la longueur maximale d'un segment étant inférieure au quart de la longueur d'onde (de la plus petite longueur d'onde dans le cas où plusieurs longueurs d'ondes sont possibles) et de  
30 préférence inférieure ou égal au dixième de la longueur d'onde, les segments adjacents d'un fil/barreau étant séparés par des isolants (au moins isolant pour l'onde), chaque fil/barreau à plusieurs segments isolés (au moins pour l'onde) entre eux, dénommé fil/barreau discontinu, étant transparent

pour l'onde et équivalent au défaut d'un fil/barreau au moins partiellement retiré;

5 - un fil/barreau peut comporter au moins une partie formée d'une succession de segments séparés par des isolants et au moins une autre partie constituée d'un conducteur continu réflecteur,

- on peut combiner l'utilisation de l'ajout/retrait de fils/barreaux à la mise en œuvre de fils/barreaux avec segments;

10 - tous les fils/barreaux sont des fils/barreaux à plusieurs segments;

- au moins un des isolants séparant deux segments adjacents dans un fil/barreau comporte ou est formé d'un composant actif commutable pouvant prendre au moins un premier état, conducteur pour l'onde, dans lequel le  
15 fil/barreau à plusieurs segments se comporte comme un conducteur/réflecteur pour l'onde dénommé fil/barreau continu, et un second état isolant pour l'onde dans lequel le fil/barreau à plusieurs segments est transparent pour l'onde  
20 et équivalent au défaut d'un fil/barreau au moins partiellement retiré, et en ce que ladite antenne comprend en outre des moyens de commande des composants actifs, permettant d'imposer à certains des fils/barreaux à plusieurs segments de se comporter comme des fils/barreaux  
25 discontinus, le au moins un faisceau étant conformé dans une direction fonction de la position et/ou de la configuration des fils/barreaux discontinus;

- dans un fil/barreau à segments et composants actifs de commutation, la commande s'effectue par tronçon(s) formé  
30 d'un sous-ensemble de segments adjacents de l'ensemble des segments du fil/barreau, le sous-ensemble pouvant comprendre de deux jusqu'au nombre total de segments du fil/barreau, les composants séparant les segments d'un tronçon étant mis dans leur premier état, les autres

composants étant dans le second état, afin de pouvoir en outre orienter en hauteur par rapport au plan le/les faisceaux;

- les moyens de commande des composants actifs forment moyens de conformation de et de commutation entre  
5 au moins un premier faisceau et au moins un second faisceau, de façon que l'antenne soit une antenne à commutation de faisceaux;

- l'antenne est appliquée à un réseau de télécommunication civil public ou privé.

10 L'invention consiste enfin en une station de base qui comprend au moins une antenne à commutation de faisceaux selon l'une ou plusieurs des caractéristiques précédentes.

L'invention consiste donc en un matériau électromagnétique accordable dérivé des matériaux à bande  
15 interdite photonique (BIP) et possédant de préférence une symétrie cylindrique. Ce matériau sera appelé dans la suite matériau BIP Accordable Conformé (BIPAC). La destination principale de ce matériau est l'utilisation comme déflecteur actif dans des antennes de stations de base, notamment pour  
20 les réseaux de télécommunications civiles (GSM et UMTS).

Selon une autre présentation d'une modalité de l'invention, l'antenne est réalisée en entourant un élément rayonnant des ondes électromagnétiques (de préférence omnidirectionnel au moins dans un plan xy) d'une structure de  
25 type cage de Faraday à barreaux (ou fils) qui sont perpendiculaires au plan xy (et parallèle à l'élément rayonnant), chacun des barreaux de la cage pouvant sélectivement être rendu conducteur des ondes, il apparaît alors comme un réflecteur des ondes électromagnétiques, en  
30 totalité ou par tronçon(s) de grande longueur (état continu) ou n'être conducteur que sur de tous petits segments (état discontinu), les segments étant séparés les uns des autres par des isolants et les segments étant d'une longueur telle que le barreau apparaît alors sensiblement transparent pour  
35 les ondes.

D'un point de vue théorique il est préférable que la longueur totale des barreaux dans l'état continu soit grande par rapport à la longueur d'onde des ondes à émettre ou à recevoir car ils apparaissent alors être dans un état conducteurs vis-à-vis de ces ondes ce qui permet d'empêcher (ou limiter) par réflexion leur sortie à l'extérieur de l'antenne. On comprend que dans ce cas de grande longueur avec des fils/barreaux commandables (notamment par des composants qui sont des diodes), il faille utiliser de nombreux composants. On s'est toutefois aperçu en pratique que, de manière surprenante, des longueurs plus réduites des fils/barreaux pouvaient être utilisées avantageusement et il est ainsi possible d'utiliser des longueurs de fils/barreaux supérieures ou égales à la moitié de la longueur d'onde. L'utilisation de longueurs plus réduites que d'un point de vue théorique permet de réduire le nombre de composants sans dégradation conséquente des caractéristiques de l'antenne. On a ainsi pu réaliser à titre d'exemple une antenne destinée à fonctionner à 1GHz dont la longueur de chaque fil/barreau est d'environ 17cm. Ainsi, le terme « grande » pour la longueur des fils/barreaux (ou parties continues conductrices/réfléctives des ondes) doit être considéré plus sous un aspect fonctionnel que de longueur pure puisque l'on peut réaliser des antennes avec des fils/barreaux d'une longueur qui peut être réduite jusqu'à la moitié de la longueur d'onde et dont les fils/barreaux continus se comportent bien comme des conducteurs/réflécteurs des ondes.

La longueur des segments est qualifiée de toute petite par rapport au quart de la longueur d'onde des ondes à émettre ou à recevoir, les segments étant isolés les uns des autres, les barreaux dans cet état sont globalement non-conducteurs vis-à-vis de ces ondes et apparaissent alors sensiblement transparent pour ces ondes.

Dans un mode de réalisation, chacun des barreaux pouvant ainsi être rendu conducteur/réflécteur (état continu)

ou non-conducteur/transparent (état discontinu) vis-à-vis des ondes est du type à tous petits segments séparés par des isolants radioélectrique avec, en parallèle des isolants, des moyens de commutation permettant de relier électriquement en continu et alternatif ou seulement en alternatif (liaison capacitive par exemple) deux à deux les segments adjacents d'un isolant. Notons que le terme moyen de commutation en parallèle de l'isolant correspond aussi bien au cas où un isolant est toujours présent (interrupteur commandé en parallèle d'une entretoise isolante), qu'au cas où l'isolant devient conducteur (diode par exemple). Pour des raisons de simplicité, on préfère utiliser entre les segments un composant qui passe sur commande d'un état conducteur à un état isolant des ondes électromagnétiques, tel qu'une diode.

Dans la suite on utilisera indifféremment les termes fil ou barreau pour désigner des éléments conducteurs/réflecteurs ou non-conducteurs/transparents (radio)électriques de la structure de l'antenne. En pratique, en fonction des fréquences mises en jeu par l'antenne, il peut être préférable d'utiliser des barreaux pour les très hautes fréquences pour lesquelles des effets de peau sont présents plutôt que des fils. De plus les barreaux peuvent être creux et permettre intérieurement le passage de liaisons notamment électriques pour la commande de composants actifs de commutation entre segments isolés du barreau, ces liaisons pouvant être ainsi partiellement blindées par la présence du barreau.

D'autre part, on utilise le terme (radio)électrique pour définir l'état conducteur/réflecteur ou non-conducteur/transparent des fils/barreaux globalement et conducteur ou non-conducteur des composants actifs de commutation spécifiquement car si, au minimum, la conduction ou non-conduction doit concerner les ondes radioélectriques (alternatif), ces éléments peuvent être en

plus conducteurs ou non-conducteurs vis-à-vis d'un éventuel courant continu. En effet, une liaison capacitive, par exemple dans un élément actif de commutation, est conductrice pour les ondes radio mais isolante pour le continu, on peut donc  
5 obtenir une commutation en faisant varier la valeur de la capacité (varicap). De même, une liaison selfique, par exemple dans un élément actif de commutation, est non-conductrice pour les ondes radio mais conductrice pour le courant continu, on peut donc obtenir une commutation en  
10 faisant varier la valeur de la self. On peut également associer des composantes capacitatives et selfiques dans des circuits bouchons (non-conducteurs) formant des éléments actifs de commutation et dont on peut faire varier les valeurs des composantes afin de les rendre conducteurs. Afin d'améliorer  
15 le comportement de l'antenne, il est également possible de corriger la présence de capacités parasites (notamment pour les diodes) ou de self parasites (notamment pour les connexions des diodes), par des composants correcteurs additionnels, notamment selfs contre les capacités parasites  
20 et capacité contre les selfs parasites, voir des combinaisons de ces composants.

Ces composants actifs de commutation peuvent par exemple être des diodes rendues passantes ou non selon l'application ou non d'un courant. Selon leur type, les  
25 composants actifs de commutation peuvent être conducteurs ou non-conducteurs au repos (une diode non polarisée, au repos, est non conductrice en négligeant sa capacité parasite).

L'antenne de l'invention dans le cas préféré d'une  
30 répartition des couches de fils/barreaux en cercles concentriques est particulièrement bien adaptée aux excitations par ondes cylindriques produites par un élément rayonnant du type dipôle placé en son centre. Selon sa configuration, elle permet de réaliser au moins un faisceau  
35 radioélectrique (lobe) d'ouverture quelconque, pouvant



tourner sur 360°. En effet, notamment pour le réseau UMTS les antennes doivent être capables d'avoir un faisceau rayonnant directif orientable sur 360°, susceptible de suivre un usager au cours de son déplacement. L'antenne de  
5 l'invention, notamment dans sa configuration préférée de couches circulaires (cylindriques), est simple à mettre en oeuvre et peu coûteuse.

On rappelle que dans les antennes actuelles des stations de base, la direction des faisceaux est figée et ne  
10 permet pas aux opérateurs de s'adapter au trafic téléphonique. La structure BIP selon l'invention et de préférence dans sa forme à structure BIP cylindrique et dans le cas où elle peut être commandée, permet d'obtenir une agilité du faisceau. Ceci permet de suivre les mobiles, de  
15 modifier dynamiquement les zones de couverture en fonction des besoins du moment, de privilégier aux heures de pointe tel ou tel secteur, etc.

La présente invention va maintenant être exemplifiée par la description qui suit, sans en être pour autant limitée, et  
20 en relation avec :

la figure 1 qui représente une vue en coupe transversale d'une antenne comprenant une structure BIP de l'état de la technique à mailles carrées;

la figure 2 qui représente un premier mode de réalisation  
25 particulier d'une structure BIP cylindrique selon l'invention;

la figure 3 qui représente un second mode de réalisation particulier d'une structure BIP cylindrique selon l'invention;

la figure 4 qui représente un exemple d'antenne selon l'invention comprenant une structure BIP cylindrique selon le  
30 premier mode de réalisation illustré sur la figure 2 et avec des défauts obtenus par retrait de fils/barreaux;

la figure 5 qui représente un exemple d'antenne selon l'invention comprenant une structure BIP cylindrique selon le second mode de réalisation illustré sur la figure 3 et avec des  
35 défauts obtenus par retrait de fils/barreaux;

- la figure 6 qui représente des diagrammes de rayonnement obtenus pour les antennes des figures 4 et 5;
- la figure 7 qui représente une vue schématique en perspective d'une antenne selon l'invention comprenant une structure BIP cylindrique;
- la figure 8 qui représente une vue réelle en perspective d'un exemple d'antenne selon l'invention comprenant une structure BIP cylindrique;
- la figure 9 qui illustre le fonctionnement d'une antenne à commutation de faisceaux,
- la Figure 10 qui représente en (a) une vue perspective d'une antenne formée d'un matériau BIPAC  $90^\circ$ , les fils/barreaux étant disposés sur des rayons séparés angulairement par  $90^\circ$  et en (b) une vue de dessus d'une antenne formée d'un matériau BIPAC  $30^\circ$ , les fils/barreaux étant disposés sur des rayons séparés angulairement de  $30^\circ$ ,
- la Figure 11 (a) à (d) qui représente des simulations d'antennes BIPAC  $45^\circ$  pour différentes répartitions de fils/barreaux continus et discontinus,
- la Figure 12 (a) à (d) qui représente une simulation d'un élément rayonnant de type dipôle seul,
- la Figure 13 (a) à (d) qui représente la simulation d'un élément rayonnant tel que celui de la Figure 12 mais placé au sein d'une antenne dans un matériau BIPAC  $45^\circ$ ,
- la Figure 14 (a) à (d) qui représente la simulation d'un élément rayonnant tel que celui de la Figure 12 mais placé au sein d'une antenne dans un matériau BIPAC  $22,5^\circ$ .

Par opposition aux antennes connues et notamment comme on l'a vu dans la partie relative à l'art antérieur concernant une antenne à structure BIP à mailles carrées telle que représentée Figure 1 où les tiges 1 forment un quadrillage (de sept lignes sur sept colonnes) à mailles carrées au centre duquel se trouve l'élément rayonnant passif 2, les antennes de l'invention ont une structure basée sur une répartition sur des courbes circulaires (cercle, ellipse ou

autre courbe fermée circulaire) concentriques de fils ou barreaux formant chacune une couche autour d'un élément rayonnant sensiblement central aux courbes. Typiquement, dans une antenne de l'invention, un élément rayonnant  
5 (notamment une antenne simple dipolaire) est disposé le long d'un axe z et est entouré d'une structure de fils ou barreaux typiquement linéaires et parallèles entre eux et à l'axe z. De préférence et comme représenté sur les figures, on met en œuvre une structure BIP dont la répartition des fils ou  
10 barreau est effectuée sur des cercles concentriques autour d'un centre où se trouve sensiblement l'élément rayonnant. L'élément rayonnant et les fils/barreaux sont perpendiculaires à un plan xy médian de la structure qui, dans un mode de fonctionnement de base, est porteur des grands axes des  
15 faisceaux (lobes) d'émission/réception qui peuvent être créés (dans d'autres modes de fonctionnement, les grands axes peuvent être au-dessus ou en dessous), avec une forme de lobe particulière et une position angulaire autour de l'axe z particulière dépendant de la répartition et des états  
20 conducteur/réfecteur ou non-conducteur/transparent des fils/barreaux.

On utilise ici le terme élément rayonnant pour désigner aussi bien le dispositif final d'émission dans l'espace d'ondes radioélectrique d'un émetteur que le dispositif de collecte  
25 dans l'espace des ondes électromagnétiques d'un récepteur, dispositifs qui sont de préférence rassemblés en une structure unique (même dispositif pour l'émission et la réception) mais qui, dans certaines configurations, peut être formée de deux dispositifs distincts ou n'être utilisé que pour  
30 l'émission ou pour la réception (dans le cas de la réalisation d'une antenne spécialisée en émission ou en réception). L'élément rayonnant est par exemple un dipôle, de préférence passif. Pour couvrir une large bande passante (par exemple la bande UMTS), l'élément rayonnant peut être un dipôle  
35 épais ou un dipôle replié en technologie imprimée.

Chaque fil ou barreau est préférentiellement constitué de segments conducteurs électriques adjacents séparés les uns des autres par des isolants comportant en parallèle des composants actifs de commutation (composants actifs commandés) pouvant mettre en continuité (radio)électrique les segments conducteurs électriques adjacents. Ainsi, chaque fil ou barreau peut être conducteur par tronçons ou dans sa totalité (état continu apparaissant conducteur/rélecteur pour les ondes) ou être laissé constitué de segments conducteurs isolés les uns des autres (état discontinu, apparaissant non-conducteur/transparent pour les ondes). La possibilité de mise en conduction ou non par tronçons des fils/barreaux permet en plus d'orienter le grand axe du/des lobes en hauteur par rapport au plan xy pour balayage volumique de l'espace. Comme on l'a indiqué, cet effet de réflexion ou de transparence concerne les ondes et les longueurs des fils/barreaux, des segments et des tronçons sont adaptées aux longueurs d'ondes mises en jeu afin que ces effets soient bien présents vis-à-vis des ondes.

Dans certains modes de mise en oeuvre, seule une partie des fils ou barreaux est du type précédent constitué de segments conducteurs pouvant être reliés (radio)électriquement entre eux par commande de composants de commutation, les autres étant soit des non-conducteurs/transparents ou, plus simplement, étant omis, soit des conducteurs/rélecteurs sur toute ou une grande partie (grande par rapport à la longueur d'onde) de leur longueur totale. On comprend que dans le cas où des fils/barreaux sont d'un type figé, conducteur/rélecteur ou non-conducteur/transparent, il n'est plus possible de les commander et, qu'en dehors d'opérations manuelles, il n'est pas possible de modifier par commande la forme et l'orientation du/des lobes sur tout (si tous les fils/barreaux de l'antenne sont d'un type figé) ou partie de l'antenne (si

seulement une partie des fils/barreaux de l'antenne est d'un type figé, les autres pouvant être commandés).

Un avantage supplémentaire de disposer de segments conducteurs électriques séparés d'isolants pouvant être  
5 rendus conducteurs par des éléments de commutation par tronçons est de permettre la réalisation d'antenne à large bande ou du type logarithmique, la longueur du tronçon rendu conducteur étant adapté à une fréquence particulière. Ainsi, en plus de pouvoir orienter en hauteur le lobe par rapport au  
10 plan xy, on peut éventuellement adapter le fonctionnement de l'antenne à une large gamme de fréquences.

On a donc vu que les fils/barreaux de la structure d'antenne de l'invention sont disposés en couches concentriques et, de préférence, chacune circulaire (cercle  
15 dans le plan xy ou cylindre dans l'espace xyz) dont le centre unique de la structure et des cercles correspond sensiblement à l'élément rayonnant. Dans un mode de mise en œuvre, les fils/barreaux sont disposés d'une couche à l'autre dans le plan xy le long d'axes porteurs en rayons  
20 (axes de distribution) passant par le centre de la structure (ou dans des plans zw dans l'espace xyz ; w étant une droite centrée dans le plan xy). De préférence, ces axes porteurs en rayons sont régulièrement disposés angulairement dans le plan xy, par exemple tous les 90°, 45°, 30° ou 22,5°, voire  
25 plus ou moins et plus généralement toute valeur correspondant à une division du plan xy autour du centre en portions angulaires égales. Si l'on préfère que les fils/barreaux d'une couche soient répartis autour du centre dans des positions équiangulaires (par exemple tous les 30°),  
30 on envisage cependant le cas de répartitions non équiangulaires, les fils/barreaux pouvant être plus resserrés angulairement dans certaines parties du plan xy afin d'augmenter la précision de pointage du/des lobes dans lesdites parties par rapport aux autres.

Ainsi à chaque intersection d'axe porteur en rayon et d'un cercle d'une couche, un fil ou barreau est présent. On comprend que ces cercles (cylindres) et axes (plans) sont virtuels et destinés à faciliter l'explication de l'implantation des fils ou barreaux pour former la structure.

Dans une variante, les fils/barreaux sont disposés régulièrement avec des distances transversales entre deux fils/barreaux adjacents (distance le long de la droite joignant les deux) d'un cercle donné égales tout le long dudit cercle et, possiblement, pour tous les cercles. Comme précédemment on envisage cependant que dans certains secteurs les distances transversales soient différentes.

En pratique les fils ou barreaux ainsi que l'élément rayonnant sont maintenus entre eux par des moyens matériels afin de garder une configuration structurale stable. Ces moyens sont typiquement des entretoises joignant les fils/barreaux et l'antenne ou un support commun. Ces moyens peuvent être des disques percés à travers lesquels les fils/barreaux sont maintenus par rapport à l'élément rayonnant. Ces moyens peuvent encore remplir complètement la structure de l'antenne. Ces moyens sont réalisés dans des matériaux à faible perte pour les fréquences mises en jeu par l'antenne et sont notamment des matières plastiques, verres spéciaux ou céramiques spéciales et, par exemple des mousses, du polystyrène expansé, des résines, du TEFLON®...

On a vu que dans certaines configurations il est possible de disposer d'un plan de masse à une extrémité axiale de l'antenne et notamment lorsque l'élément rayonnant est un monopôle (élément rayonnant à plan de masse), l'élément rayonnant étant alors posé sensiblement perpendiculairement au plan de masse et isolé de celui-ci. Dans une telle configuration, il est possible d'utiliser ce plan de masse comme moyen de maintien des fils/barreaux qui seront alors fixés à une (inférieure) de leurs deux extrémités



audit plan de masse et de préférence reliés (ou pouvant être reliés électriquement notamment par les composants de commutation dans le cas de fils/barreaux à segments) au plan de masse. Etant donné qu'il est également possible de  
5 disposer un ou, de préférence, deux plans de masse (aux deux extrémités axiales, en bas et en haut de l'antenne), quel que soit le type de l'élément rayonnant (dipôle, monopole ou autre), ce/ces plans de masse d'extrémité peuvent également servir mécaniquement de moyen de maintien des  
10 fils/barreaux. Dans le cas de connexion électrique simultanée de tous les fils/barreaux aux deux plans de masse (haut et bas) empêche la commande des fils/barreaux à segments commandés (notamment avec des diodes) par une tension continue (« DC »), commande qui permettrait de les faire  
15 passer d'un état continu, à un état discontinu et inversement. Il est donc préférable de prévoir des entretoises isolantes électriquement les fils/barreaux d'un des deux plans de masse tout en assurant le maintien mécanique, les entretoises assurant au moins isolation pour un courant  
20 continu (tout matériau isolant électrique est utilisable en rappelant qu'une capacité est isolante pour le courant continu).

On doit noter que le terme plan de masse signifie aussi bien une surface continue qu'une surface discontinue. En  
25 effet, si d'un point de vue théorique une surface continue est idéale, il est également possible de mettre en œuvre des plans de masse filaires ou maillés sans dégradation nette des caractéristiques de l'antenne. Ces plans de masse filaires se présentent comme des fils/barreaux conducteurs continus  
30 horizontaux, c'est-à-dire perpendiculaires à l'élément rayonnant et aux fils/barreaux de la structure BIP/BIPAC, joignant ces derniers et mis à la masse. On verra plus loin dans la description une telle structure d'antenne avec la Figure 11. La présence de plans de masse aux deux

extrémités axiales hautes et basses de l'antenne permet de limiter la propagation des ondes dans ces deux directions.

La distance entre les couches de fils/barreaux et la longueur des segments le long des fils/barreaux dépend de la longueur d'onde d'émission de l'antenne. Si l'antenne émet à une longueur d'onde donnée, les distances entre les couches concentriques seront égales entre elles ou différentes, pour autant que ces distances sont nettement inférieures à la longueur d'onde et mieux, inférieure au quart de la longueur d'onde. Par exemple pour une fréquence  $f=1\text{GHz}$ , la longueur d'onde dans l'air est de 30 cm. La longueur d'un segment d'un fil/barreau est de l'ordre de quelques centimètres (2,5cm dans l'exemple considéré ici). Ces fils/barreaux sont disposés en couches concentriques à partir de l'axe central de l'antenne. Ces couches sont séparées par une distance qui doit être inférieure au quart de longueur d'onde (7,5cm pour l'exemple à 1GHz). Les fils/barreaux sont préférentiellement disposés suivant les rayons de cylindres concentriques. Le nombre de ces rayons, et donc l'angle qui les sépare, est choisi en fonction de l'application visée et, en pratique, plus l'angle est faible plus on peut obtenir de précision sur la forme et l'orientation angulaire du/des lobes. Un élément rayonnant est placé au centre de l'antenne.

Le rayonnement de l'antenne va être contrôlé par le matériau BIPAC. La disposition des rayons, le nombre de couches et le nombre de fils/barreaux commutés déterminent la forme (largeur) du faisceau rayonné par l'antenne. Dans le cas de composants de commutation à type de diodes, les fils/barreaux métalliques comportent entre les segments des diodes qui peuvent être rendu conductrices (état d'un fil/barreau continu donc conducteur/rélecteur pour les ondes) ou non-conductrices (état d'un fil/barreau discontinu donc non-conducteur/transparent pour les ondes) en agissant sur la polarisation de ces diodes. Un courant continu polarise ces diodes. Lorsque le courant est suffisant, les diodes sont dans

l'état passant, leur résistance interne est faible et le fil/barreau est dans un état continu (conducteur/rélecteur radioélectrique). Lorsque ce courant est interrompu, les diodes sont bloquées et le fil devient dans un état discontinu  
5 (non-conducteur radioélectrique, transparent pour les ondes).

Le principe de fonctionnement est le suivant. Le matériau se comporte comme un BIP métallique fonctionnant dans sa première bande interdite. Lorsque les fils/barreaux métalliques qui le composent sont dans l'état continu (diodes  
10 passantes par exemple), le matériau est réfléchissant et le rayonnement de l'antenne placée au centre est confiné à l'intérieur. Quand les fils/barreaux sont dans l'état discontinu (diodes bloquées par exemple) le matériau devient transparent pour ce rayonnement uniquement dans la région  
15 où ces fils/barreaux sont dans l'état discontinu. Si on peut contrôler l'état des composants de commutation (diodes par exemple) entre les segments adjacents des fils/barreaux sur l'ensemble du matériau, on peut rendre transparent tout ou partie de ce matériau et donc contrôler la direction dans  
20 laquelle l'antenne va émettre ou recevoir. Des modélisations effectuées à l'aide de deux simulateurs électromagnétiques industriels (NEC® et HFSS®) ont montré la validité de ce principe de fonctionnement et de la conception du matériau.

Lorsque l'élément rayonnant de type dipolaire est seul,  
25 son diagramme de rayonnement est omnidirectionnel dans la direction normale à l'élément rayonnant qui est le long de l'axe z. On a pu simuler des antennes à couches circulaires (cylindriques) avec un nombre de couches croissant de 1 à 6, l'élément rayonnant dipolaire étant central, et avec des  
30 fils/barreaux disposés tous les 45° le long des cercles (les fils/barreaux sont alignés sur les rayons). Pour contrôler la direction d'émission, les fils/barreaux disposés le long d'un seul rayon sont tous placés dans l'état discontinu (transparents pour les ondes), les autres étant dans l'état  
35 continu (conducteur/rélecteur pour les ondes). L'antenne

simulée utilise un élément rayonnant central du type dipolaire fonctionnant à 1GHz. Le diagramme de rayonnement comporte un lobe qui s'affine dans la direction de rayonnement lorsqu'on augmente le nombre de couches de  
5 fils/barreaux du matériau.

Les fils/barreaux peuvent également être disposés tous les 30° et rendus discontinus le long de deux rayons directement voisins. Si le nombre de couches est suffisant, le faisceau sera plus directif que dans le cas précédent d'une  
10 disposition angulaire à 45°. D'autres simulations ont été effectuées pour un fonctionnement à 2GHz et élément rayonnant dipolaire et, ce, pour des répartitions angulaires à 45° et 22,5° sur les couches circulaires. Comme précédemment, le diagramme de rayonnement ne comprend  
15 de lobe que dans la direction des fils/barreaux d'un rayon dans un état discontinu.

Ainsi, dans l'antenne de l'invention, l'élément rayonnant radioélectrique est préférentiellement passif et il est placé au coeur d'un ensemble de fils/barreaux conducteurs  
20 sensiblement parallèles entre eux et réalisées dans un matériau à Bande Interdite Photonique (BIP) et formant une structure déterminée de fils/barreaux. Cette structure de l'antenne formée de fils/barreaux entourant un élément rayonnant comporte des défauts à type de fils/barreaux  
25 présentant des caractéristiques (radio)électriques différentes des autres, en particulier de conduction/réflexion ou non-conduction/transparence, de façon à conformer au moins un faisceau (ou lobe) dans une direction fonction de la position et/ou de la configuration desdits défauts.

30 Le défaut correspondant à des caractéristiques (radio)électrique différentes (fil/barreau conducteur/rélecteur ou non-conducteur/transparent vis-à-vis des ondes) pouvant être obtenues de diverses manières, plusieurs modes de mise en oeuvre sont possibles et on en donne deux principales à  
35 titre d'exemple. On comprend que le terme défaut peut avoir

deux significations en fonction du contexte. La première, qui sera utilisée par la suite, correspond au cas où dans une antenne - qui - comporte - initialement des fils/barreaux conducteurs/rélecteurs, le défaut est la présence de  
5 fils/barreau non-conducteurs/transparents ou l'omission de fils/barreaux conducteurs/rélecteurs. La seconde, inverse de la précédente, correspond au cas où le défaut est un fil/barreau conducteur/rélecteur.

Dans une première mise en oeuvre de l'invention,  
10 lesdits défauts sont réalisés par le retrait de certains desdits fils/barreaux conducteurs, ledit au moins un faisceau étant conformé dans une direction fonction de la position et/ou de la configuration des fils/barreaux retirés. Le retrait d'un fil/barreau peut être effectué en totalité ou en partie afin de  
15 pouvoir également orienter le faisceau en hauteur par rapport au plan xy. Les fils/barreaux conducteurs sont soit réellement continus, soit du type à segments séparés d'isolants avec composants actifs de commutation et mis dans un état continu (conducteur/rélecteur vis-à-vis des ondes).

Dans une seconde mise en oeuvre de l'invention, au moins certains des fils/barreaux sont à plusieurs segments séparés par des isolants pouvant être court-circuités par des composants actifs commandés et permettant lorsque les composants actifs sont dans un état passant, en court-circuit  
25 (radio)électrique, que le fil/barreau se comporte comme un conducteur/rélecteur (radio)électrique (état continu) et lorsque les composants actifs sont dans un état isolant, le fil/barreau se comporte comme un non-conducteur/transparent (radio)électrique (état discontinu) équivalent à un fil/barreau  
30 au moins partiellement retiré. L'antenne comprend de préférence des moyens de commande desdits composants actifs de commutation, permettant d'imposer à certains des fils/barreaux à segments de se comporter comme des fils/barreaux discontinus (non-conducteur des ondes,  
35 transparent) et d'autres comme des fils/barreaux continus



(conducteur/réflecteur des ondes). Les défauts sont ici des fils/barreaux se comportant comme des fils/barreaux discontinus - et un faisceau peut être conformé dans une direction fonction de la position et/ou de la configuration des  
5 fils/barreaux discontinus. Dans cette seconde mise en oeuvre de l'invention, la structure BIP de l'antenne est donc active en ce qu'elle permet de conformer dynamiquement et aisément un ou plusieurs faisceaux ou lobes (diagrammes de rayonnement). Aucune manipulation manuelle de retrait de  
10 fil/barreau n'est ici nécessaire.

Notons que ces deux possibilités de mise en oeuvre peuvent être combinées, une partie des fils/barreaux pouvant être commandés, le reste devant être manipulé pour retrait ou ajout pour pouvoir modifier le diagramme de rayonnement. En  
15 effet, si, avantageusement, tous les fils/barreaux de la structure BIP de l'antenne sont à plusieurs segments isolés les uns des autres et avec des composants actifs de commutation en parallèle des isolants, il est cependant clair que l'invention couvre également le cas où seulement  
20 certains fils/barreaux sont actifs, c'est-à-dire formés de plusieurs segments isolés dont l'isolant comporte en parallèle un composant actif de commutation.

De façon avantageuse, lesdits moyens de commande des composants actifs de commutation forment des moyens  
25 de conformation et de commutation entre au moins un premier faisceau et au moins un second faisceau, de façon que ladite antenne soit une antenne à commutation de faisceaux. L'antenne à commutation de faisceaux selon l'invention permet de réaliser un ou plusieurs faisceau(x) d'ouverture  
30 quelconque, pouvant tourner (c'est-à-dire commutables) sur 360°, avec un pas et un angle quelconque fonction de la répartition angulaire des fils/barreaux au sein de la structure BIP de l'antenne. De façon préférentielle, les fils/barreaux sont disposés sur des cercles selon une période angulaire



constante, et par conséquent selon une période transverse variable, pour chaque couche concentrique.

De nombreuses dispositions des fils/barreaux, selon des couches concentriques le long de courbes circulaires fermées peuvent être envisagées sans sortir du cadre de la présente invention et on va maintenant décrire plus en détail des antennes avec des couches en cercles concentriques du type à structure BIP cylindrique. Sur les figures 2 à 5 et 9 discutées ci-après, l'élément rayonnant 2 et les fils/barreaux 1 sont vus en coupe transversale de dessus (ou dessous) du plan xy, ledit plan étant dans le plan de la feuille sur laquelle les figures sont réalisées. Sur ces mêmes figures, les fils/barreaux sont disposés le long de cercles concentriques ou couches autour de l'élément rayonnant 2.

D'une façon générale, les différents paramètres de la structure BIP cylindrique sont:

- $P\theta$ : la période angulaire (en  $^\circ$ ), c'est-à-dire la distance angulaire entre deux fils/barreaux adjacentes d'un cercle donné ;
- $P_t$ : la période transverse (en mm), c'est-à-dire l'intervalle entre deux fils/barreaux adjacents d'un cercle donné;
- $P_r$ : la période radiale (en mm), c'est-à-dire l'intervalle entre deux cercles adjacents;
- $d$ : le diamètre des fils/barreaux conducteurs (en mm) ;
- $n$ : le nombre de cercles (couches) concentriques.

Dans la suite de la description, on suppose que les fils/barreaux sont disposés périodiquement selon une période radiale  $P_r$  constante et, pour chaque cercle concentrique, selon une période angulaire  $P\theta$  constante (et par conséquent selon une période transverse  $P_t$  variable).

Comme illustré sur la figure 2, dans un premier mode de réalisation de la structure BIP cylindrique selon l'invention, la période angulaire  $P\theta$  est identique pour tous les cercles concentriques. En conséquence, la période transverse  $P_t$

varie d'un cercle à l'autre ( $Pt1 < Pt2$ ). Sur cette Figure 2 on peut remarquer que le cercle interne comporte des fils/barreaux particulièrement resserrés et dans ce type de configuration c'est ce cercle interne qui commande  
5 essentiellement les caractéristiques fréquentielles de l'antenne. Une telle structure d'antenne est plutôt destinée à des applications monobandes.

Dans un second mode de réalisation, illustré sur la figure 3, c'est la période transverse  $Pt$  qui est identique pour  
10 tous les cercles concentriques. La période angulaire  $P\theta$  varie donc d'un cercle à l'autre. Dans ce type de structure, l'ensemble des cercles influe sur la réponse en fréquence de l'antenne et une telle antenne est plutôt destinée à des applications multibandes. On doit également noter que le  
15 nombre de pics de transmission est proportionnel au nombre de couches concentriques.

La structure BIP cylindrique doit par ailleurs comporter des défauts (fils/barreau dans un état discontinu, non-conducteur des ondes et donc transparent pour ces ondes) de  
20 façon à créer (au moins) un faisceau dans une direction fonction de la position et/ou de la configuration de ces défauts au sein d'une structure BIP essentiellement constituée de fils/barreaux dans un état continu (conducteur/rélecteur des ondes).

25 Une première technique, simple, pour réaliser des défauts dans la structure BIP cylindrique consiste à retirer des fils/barreaux métalliques localement. En fonction de la position et de la configuration des fils/barreaux retirés (défauts), on peut choisir la largeur, la direction et le nombre  
30 de faisceaux utiles.

Les figures 4 et 5 illustrent les structures obtenues par retrait de fils/barreaux dans un secteur angulaire de la structure BIP.

Le diagramme de rayonnement obtenu pour l'antenne de  
35 la figure 4 est référencé 61 sur la Figure 6. Celui obtenu pour

l'antenne de la figure 5 est référencé 62 sur la Figure 6. On notera au vu de ces diagrammes que l'antenne de la figure 5 offre une meilleure directivité que celle de la Figure 4.

Une seconde technique pour réaliser des défauts dans la structure BIP cylindrique consiste à utiliser des fils/barreaux métalliques pouvant être commandés, dits fils/barreaux actifs, par mise en œuvre de fils/barreaux actifs comprenant au moins deux segments conducteurs entre lesquels est inséré un isolant et en parallèle de l'isolant au moins un composant actif de commutation (diode, transistor, MEMS...) permettant selon l'état du composant (conducteur ou non-conducteur) de relier (radio)électriquement les deux segments entre eux. Ainsi, en fonction de la commande du composant actif et donc de son état, le fil/barreau actif se comporte comme s'il était dans un état continu (conducteur/réfecteur des ondes) ou un état discontinu (non-conducteur des ondes et donc transparent pour les ondes). Les fils/barreaux se comportant comme des fils/barreaux d'état discontinu, donc non-conducteurs au moins pour les ondes radioélectriques, constituent les défauts. En fonction de leur position et de leur configuration, on peut choisir la largeur, la direction et le nombre de faisceaux utiles.

L'antenne comprend donc des moyens de commande des composants actifs de commutation, permettant, en fonction du ou des faisceau(x) à créer, d'imposer à certains des fils/barreaux actifs de se comporter comme des fils/barreaux dans un état discontinu alors que les autres sont dans un état continu.

On peut utiliser comme composants actifs de commutation des réseaux de diodes PIN polarisées par un courant continu circulant dans les fils/barreaux métalliques. La commande de ces composants (et donc des fils/barreaux dans lesquelles ils sont compris) peut être réalisée par secteurs angulaires (par exemple trois secteurs séparés de 90° pour produire trois lobes dans trois directions) de la

structure BIP cylindrique. Par exemple, tous les fils/barreaux d'un secteur commutent ensemble. Ceci réduit le nombre de circuits de commande indépendants au nombre de secteurs commutables. On peut également utiliser des photodiodes (éventuellement phototransistor) dont la commutation est obtenue par de la lumière fournie par fibre optique.

Afin d'augmenter les possibilités en terme de conformation de faisceaux et de positionnement angulaire dans le plan xy, tous les fils/barreaux peuvent être du type pouvant être commandés. D'autre part, au sein de chaque fil/barreau pouvant être commandé, les composants actifs de commutation peuvent être commandés en bloc ou individuellement ou par tronçons. Dans le premier cas, tout le fil/barreau sera rendu conducteur/réfecteur ou non-conducteur/transparent selon la commande. Dans le dernier cas, ce sera le (les) tronçons commandés qui seront rendus conducteurs/réfecteurs ou non-conducteurs/transparentes selon la commande (comme indiqué précédemment la longueur du tronçon doit être grande par rapport à la longueur d'onde). Ainsi, en fonction de la position du tronçon en hauteur par rapport au plan xy, on pourra, en plus, orienter en hauteur le/les lobes créés. Dans le cas intermédiaire à commandes indépendantes de chaque composant actif de commutation d'un fil/barreau, on peut réaliser aussi bien une action en bloc que par tronçons (les composants commandés seront adjacents et définissant une longueur de tronçon suffisamment grande vis-à-vis des ondes).

Les fils/barreaux disposés selon le cercle externe (de rayon le plus élevé) forment une enveloppe cylindrique 3 de la structure, comme illustrée sur la vue schématique en perspective de la figure 7. Dans un souci de simplification, seuls l'enveloppe externe 3 (sans représentation des fils/barreaux eux-mêmes), l'élément rayonnant 2 et deux faisceaux 4 et 5 ont été représentés.

La structure BIP cylindrique apparaît également sur la figure 8, qui est une vue réelle en perspective d'un exemple d'antenne selon l'invention. Dans cet exemple, la structure BIP cylindrique comprend trois cercles concentriques sur  
5 chacun desquels sont disposés une pluralité de fils/barreaux 1. Les fils/barreaux conducteurs sont par exemple des fils/barreaux métalliques, disposées dans l'air ou dans un diélectrique (en vue de réduire les dimensions). Dans le cas de l'air, comme illustré sur la figure 8, les fils/barreaux sont  
10 maintenus au moyen d'un support. Ce support est par exemple réalisé en mousse (de permittivité équivalente à celle de l'air). Dans l'exemple illustré, il comprend un plateau ou disque horizontal 6.

On présente maintenant, en relation avec la figure 9, le  
15 fonctionnement d'une antenne à commutation de faisceaux selon l'invention, comprenant une structure BIP cylindrique avec des défauts obtenus par des fils/barreaux placés dans un état discontinus (donc transparents pour les ondes radioélectriques) par commande. Seule une partie de chacun  
20 des lobes 91, 92 a été représentée, celle la plus proche de l'antenne. On doit signaler (la Figure 9 ne représentant pas la partie la plus externe des lobes) qu'il est préférable pour obtenir un lobe étroit d'avoir un secteur de défauts ou formé de fils/barreaux discontinus (transparent pour les ondes)  
25 suffisamment ouvert plutôt que réduit au minimum, c'est-à-dire pour la Figure 9 formé de plusieurs rayons adjacents porteurs (lobe 91) plutôt que d'un seul (lobe 92). On peut comparer les effets de ce phénomène d'interaction des ondes avec la structure à celui de la diffraction en optique.

30 La commande de la conformation d'un faisceau se réalise de la façon suivante. La structure BIP cylindrique est excitée au centre par une antenne à symétrie de révolution 2. Au départ, tous les fils/barreaux actifs 1 sont dans un état continu (ils sont dans cet état continu représentés par une  
35 pastille noire sur la figure 9) et se comportent comme des

conducteurs/réfecteurs (radio)électriques. Pour créer un faisceau dans une direction donnée, on crée des défauts dans cette structure BIP cylindrique en faisant passer à l'état isolant les composants actifs de commutation entre segments de certains fils/barreaux qui sont orientés dans la direction souhaitée du faisceau. Ces fils/barreaux passent donc dans un état discontinu (ils sont dans cet état discontinu représentés par une pastille blanche sur la figure 9) et se comportent comme des non-conducteurs (radio)électriques et apparaissent sensiblement transparents pour les ondes radioélectriques. On peut de cette façon diriger le faisceau dans toutes les directions de l'espace. Il y a également la possibilité d'avoir deux ou plusieurs faisceaux simultanément dans des directions différentes. Ainsi, dans l'exemple de la figure 9, deux faisceaux 91 et 92 sont créés simultanément.

Sur la Figure 10 on a représenté deux exemples d'antenne réalisée à partir de matériaux BIPAC, le premier en (a) à répartition circulaire et radiale de pas angulaire de  $90^\circ$  et le second en (b) de pas de  $30^\circ$ . Les fils/barreaux sont formés de segments 7 conducteurs séparés par des diodes 9 et pouvant donc être placés dans un état continu (conducteur/réfecteur des ondes) ou discontinu (transparent pour les ondes) en fonction de la polarisation ou non des diodes. L'élément rayonnant central est un dipôle. On comprend que ce type de structure, dans le cas où les diodes peuvent être commandées sélectivement (dans un fil/barreau : individuellement, par groupe ou globalement), permet de réaliser un fil/barreau dont un (des) tronçon(s) peu(ven)t être rendu(s) discontinu(s) par rapport au reste du fil/barreau, un tronçon correspondant à une portion (ou totalité) d'un fil/barreau dont les segments adjacents (contigus) sont isolés les uns des autres (discontinu) radio électriquement, le reste du fil/barreau étant continu.

Sur la Figure 11 (a), le matériau BIPAC  $45^\circ$  de l'antenne est vu en perspective et tous les fils/barreaux des deux



couches circulaires sont dans un état continu 10 (conducteurs/rélecteurs des ondes), sauf ceux situés le long d'un rayon qui sont dans un état-discontinu 11 (transparents pour les ondes). Le diagramme de rayonnement pour  $\theta=90^\circ$  est donné à la Figure 11 (b) en dB. Le grand axe du diagramme de rayonnement est dans la direction du rayon ayant les fils/barreaux discontinus.

Sur la Figure 11 (c), le matériau BIPAC  $45^\circ$  de l'antenne est vu en perspective et tous les fils/barreaux des six couches circulaires sont dans un état continu 10 (conducteurs/rélecteurs des ondes), sauf ceux situés le long d'un rayon qui sont dans un état discontinus 11 (transparents pour les ondes). Le diagramme de rayonnement pour  $\theta=90^\circ$  est donné à la Figure 11 (b) en dB. Le grand axe du diagramme de rayonnement est dans la direction du rayon ayant les fils/barreaux discontinus.

On doit remarquer sur la Figure 11 (a) et (c) que des conducteurs sont disposés aux extrémités hautes et basses de la structure d'antenne en rayons à partir des extrémités (isolées) de l'élément rayonnant vers les fils/barreaux du premier cercle, ils forment un plan de masse filaire limitant la propagation des ondes vers le haut et le bas de l'antenne.

Sur la Figure 12 (a) à (d), l'élément rayonnant seul à type de dipôle rayonne à une fréquence de 2GHz et la longueur du dipôle est de 75mm au total. Pour des raisons de symétrie et avec le logiciel de simulation HFSS® seul un quart de l'antenne est simulée (Figure 12 (d)). Figure 12 (a), le diagramme de rayonnement en champ lointain forme un tore dans cette vue en perspective. Figure 12 (b), le diagramme de rayonnement est vu en projection pour  $\phi=0^\circ$  et Figure 12 (c) pour  $\theta=90^\circ$ .

Sur la Figure 13 (a) à (d), le dipôle rayonne à une fréquence de 2GHz au sein d'un matériau BIPAC dont les fils/barreaux sont disposés sur des cercles concentriques le long de rayons espacés angulairement de  $45^\circ$ , tous les fils

étant dans un état continu 10 (conducteur/rélecteur des ondes) sauf ceux d'un rayon qui sont dans un état discontinu 11 (transparent pour les ondes) et dans la direction duquel rayon sera formé un lobe du diagramme de rayonnement.

5 Pour des raisons de symétrie et avec le logiciel de simulation HFSS® seul un quart de l'antenne est simulée (Figure 13 (d)). Figure 13 (a), le diagramme de rayonnement en champ lointain forme un lobe dans cette vue en perspective. Figure 13 (b), le diagramme de rayonnement est vu en projection

10 pour  $\phi=0^\circ$  et Figure 13 (c) pour  $\theta=90^\circ$ .

Sur la Figure 14 (a) à (d), le dipôle rayonne à une fréquence de 2GHz au sein d'un matériau BIPAC dont les fils/barreaux sont disposés sur des cercles concentriques le long de rayons espacés angulairement de  $22,5^\circ$ , tous les fils

15 étant dans un état continu 10 (conducteur/rélecteur des ondes) sauf ceux de deux rayons adjacents qui sont dans un état discontinu 11 (transparent pour les ondes) et dans la direction desquels rayons sera formé un lobe du diagramme de rayonnement. Pour des raisons de symétrie et avec le

20 logiciel de simulation HFSS® seul un quart de l'antenne est simulée (Figure 14 (d)). Figure 14 (a), le diagramme de rayonnement en champ lointain forme un lobe dans cette vue en perspective. Figure 14 (b), le diagramme de rayonnement est vu en projection pour  $\phi=0^\circ$  et Figure 14 (c) pour  $\theta=90^\circ$ .

25 Du fait qu'ils permettent un changement dynamique de conformation de faisceau, les moyens de commande peuvent également constituer des moyens de commutation de faisceaux. En d'autres termes, en modifiant les signaux de commande appliqués aux composants actifs des fils/barreaux

30 de plusieurs éléments, on peut commuter entre au moins un premier faisceau et au moins un second faisceau. L'antenne à commutation de faisceaux ainsi obtenue, selon l'invention, peut être mise en oeuvre notamment, mais non exclusivement, dans une station de base d'un système de

35 radiocommunication avec des stations mobiles.

Dans les exemples détaillés qui ont été donnés, on a considéré un cas particulier d'antenne dont les éléments BIP sont disposés régulièrement et selon une répartition circulaire en cercle coaxialement autour d'un élément rayonnant (antenne simple dipolaire omnidirectionnelle) afin de simplifier les explications et les calculs. En effet, l'élément rayonnant étant omnidirectionnel et la disposition des éléments BIP régulière en cercles concentriques, on peut limiter les calculs de modélisation à certains secteurs de l'espace, notamment angulaires. On peut également en déduire une symétrie en révolution du comportement de l'antenne.

On considère cependant que d'autres structures d'antenne à éléments BIP/BIPAC peuvent être réalisés si l'on souhaite des comportements différents selon les directions angulaires considérées bien que les éléments BIP continus/discontinus soient structurés d'une manière équivalente mais angulairement décalés : l'élément rayonnant seul pouvant avoir un diagramme non omnidirectionnel et/ou les éléments BIP être disposés sur des courbes elliptiques (voire à la limite en cercle) à excentricité constante ou non au fur et à mesure de l'éloignement de l'élément rayonnant qui est central. On comprend alors que la simulation et les diagrammes de rayonnement obtenus puissent être plus complexes. Ce type d'antenne peut par exemple être utilisé dans une station de base dont l'environnement est inhomogène et comporte des obstacles aux ondes et/ou des constructions à effet miroir sur les ondes (réflexion, trajets multiples) et/ou favorisant la transmission (E/R en bord de mer : on peut choisir de favoriser/affiner par défaut la transmission vers l'intérieur des terres plutôt que vers la mer).

D'autre part, on a considéré une structure BIP à fils/barreaux linéaires parallèles à l'élément rayonnant (axe z) qui permet la conformation d'un ou plusieurs lobes dont le

grand axe est sensiblement perpendiculaire à l'élément rayonnant, permettant ainsi un balayage circulaire du/des grands axes du/des lobes dans un plan également perpendiculaire à l'élément rayonnant. On considère également dans le cadre de l'invention que la structure BIP soit à fils/barreaux parallèles mais non linéaire et, de préférence, à fils/barreaux qui soient au moins sur une partie de leurs trajets sensiblement parallèles entre eux et sur une courbe circulaire du type cercle (fils/barreaux en arcs de cercles), elliptique (fils/barreaux en arcs d'ellipses). Une telle structure en coques sphériques ou elliptiques concentriques de fils/barreaux, en plus de la possibilité de conformation de lobe(s) dans un plan perpendiculaire à l'élément rayonnant (plan xy) permet une meilleure conformation des lobes en hauteur par rapport au plan xy (les lobes sont dans des plans zw ; w étant un axe centré parcourant le plan xy), permettant ainsi un balayage volumique du grand axe du/des lobes dans l'espace. Dans ce dernier cas, la sélection de l'état continu ou discontinu pour un fil/barreau s'effectue de préférence par tronçons selon une position déterminée en hauteur. Ainsi on peut par exemple réaliser des antennes dans lesquelles des fils ou barreaux sont disposés en couches sphériques autour d'une antenne omnidirectionnelle. Comme précédemment, l'antenne rayonnera uniquement dans les directions dans lesquelles des fils/barreaux ou des tronçons de fils/barreaux sont non-conducteurs (radio)électriquement. Il est également possible, comme on l'a vu, de balayer une partie de l'espace avec un/des lobes même avec des fils/barreaux linéaires contrôlés par tronçons.

On comprend bien que la forme générale des fils/barreaux, notamment vers leurs extrémités supérieures et/ou inférieures, puisse s'éloigner des formes indiquées ci dessus (linéaire, cercle ou ellipse), afin d'obtenir un comportement encore plus particulier du/des lobes vers le haut et/ou le bas de l'antenne par mise en œuvre de formes

de fils/barreaux particulières et, par exemple, (associées ou non aux précédentes linéaires, cercle, ellipse) en triangle, carré ou rectangle (notamment dans le cas où l'on dispose des plans de masse aux deux extrémités axiales de l'antenne pour limiter le rayonnement vers le haut ou le bas). Il peut être en effet nécessaire d'avoir une tenue en incidence de l'antenne qui soit améliorée notamment dans le cas d'applications en radôme pour antenne omnidirectionnelle et dans ce cas il est nécessaire d'utiliser un réseau à structure tridimensionnelle formé de plans de fils/barreaux entrecroisés à angle droit.

De même, l'invention peut être appliquée dans des associations d'antennes réalisées selon les caractéristiques de répartition sur des courbes circulaires (cercle ou ellipse ou autre forme fermée courbée) de fils/barreaux, des fils/barreaux étant communs à deux (ou plus) éléments rayonnants séparés, les courbes de répartition pour chacun des éléments rayonnants se croisant au niveau desdits fils/barreaux communs.

### REVENDICATIONS

1. Antenne permettant la conformation d'au moins un faisceau (4, 5, 61, 62, 91, 92) d'ondes radioélectriques d'au  
5 moins une longueur d'onde déterminée, du type comprenant au moins un élément rayonnant (2) les ondes, préférentiellement passif, placé dans un ensemble de fils ou barreaux (1) réflecteurs de l'onde et sensiblement parallèles entre eux, réalisés dans un matériau à Bande Interdite  
10 Photonique (BIP) et formant une structure déterminée, ladite structure déterminée comportant des défauts de façon à conformer ledit au moins un faisceau dans une direction fonction de la position et/ou de la configuration desdits défauts,  
15 caractérisée en ce que lesdits fils ou barreaux et les défauts sont disposés sur un ensemble de N courbes fermées concentriques d'un plan, N étant supérieur ou égal à deux, l'élément rayonnant étant disposé à l'intérieur de la courbe la plus interne et la distance entre les courbes est inférieure au  
20 quart de la longueur d'onde, la longueur d'un fil/barreau étant supérieure ou égale à la moitié de la longueur d'onde.

2. Antenne selon la revendication 1, caractérisée en ce que les courbes sont choisies parmi les cercles, les ellipses, les cycloïdes et, de préférence, sont toutes des cercles,  
25 l'élément rayonnant étant placé sensiblement au centre commun desdits cercles.

3. Antenne selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que les fils/barreaux ou défauts adjacents le long d'une courbe donnée sont disposés en des points équidistants  
30 transversalement.

4. Antenne selon la revendication 3, caractérisée en ce que les distances transversales des fils/barreaux ou défauts adjacents sont toutes égales pour toutes les courbes.

5. Antenne selon la revendication 4, caractérisée en ce  
35 que les courbes sont des cercles et que les fils/barreaux ou



défauts sont disposés en au moins deux cercles concentriques autour de l'élément rayonnant sensiblement central selon une répartition périodique transversale constante et égale pour tous les cercles.

5           6. Antenne selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que les fils/barreaux ou défauts sont disposés le long d'axes de distribution passant par l'élément rayonnant et dans le plan, en des points correspondant au croisement des courbes et des axes de distribution.

10           7. Antenne selon la revendication 6, caractérisée en ce que les axes de distribution sont régulièrement répartis dans le plan sur  $360^\circ$  et le divisent en secteurs angulaires égaux, la valeur d'un secteur angulaire étant préférentiellement de  $22,5^\circ$  ou un multiple de  $22,5^\circ$ .

15           8. Antenne selon la revendication 7, caractérisée en ce que les courbes sont des cercles et que les fils/barreaux ou défauts sont disposés en au moins deux cercles concentriques autour de l'élément rayonnant sensiblement central selon une répartition périodique angulaire constante  
20 et égale pour tous les cercles.

          9. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'élément rayonnant est omnidirectionnel et est de préférence un dipôle, ledit dipôle étant alors disposé sensiblement parallèlement aux  
25 fils/barreaux.

          10. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les fils/barreaux sont droits.

          11. Antenne selon l'une quelconque des revendications  
30 1 à 9, caractérisée en ce que les fils/barreaux sont courbes.

          12. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que lesdits défauts sont réalisés par le retrait au moins partiel de certains desdits fils/barreaux, ledit au moins un faisceau étant conformé dans

une direction fonction de la position et/ou de la configuration des fils/barreaux retirés.

13. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'au moins certains desdits  
5 fils/barreaux sont chacun constitués d'au moins deux segments conducteurs, la longueur maximale d'un segment étant inférieure au quart de la longueur d'onde et de préférence inférieure ou égale au dixième de la longueur d'onde, les segments adjacents d'un fil/barreau étant séparés  
10 par des isolants, chaque fil/barreau à plusieurs segments isolés entre eux, dénommé fil/barreau discontinu (11), étant transparent pour l'onde et équivalent au défaut d'un fil/barreau au moins partiellement retiré.

14. Antenne selon la revendication 13, caractérisée en  
15 ce que tous les fils/barreaux sont des fils/barreaux à plusieurs segments.

15. Antenne selon la revendication 13 ou 14, caractérisée en ce qu'au moins un des isolants séparant deux segments adjacents dans un fil/barreau comporte ou est  
20 formé d'un composant actif commutable pouvant prendre au moins un premier état, conducteur pour l'onde, dans lequel le fil/barreau à plusieurs segments se comporte comme un réflecteur, dénommé fil/barreau continu (10), et un second état isolant pour l'onde dans lequel le fil/barreau à plusieurs  
25 segments est transparent pour l'onde et équivalent au défaut d'un fil/barreau au moins partiellement retiré, et en ce que ladite antenne comprend en outre des moyens de commande desdits composants actifs, permettant d'imposer à certains desdits fils/barreaux à plusieurs segments de se comporter  
30 comme des fils/barreaux discontinus (11), ledit au moins un faisceau étant conformé dans une direction fonction de la position et/ou de la configuration des fils/barreaux discontinus.

16. Antenne selon la revendication 15, caractérisée en  
35 ce que dans un fil/barreau à segments et composants actifs

de commutation, la commande s'effectue par tronçon(s) formé d'un sous-ensemble de segments adjacents de l'ensemble des segments du fil/barreau, - le - sous-ensemble pouvant comprendre de deux jusqu'au nombre total de segments du fil/barreau, les composants séparant les segments d'un tronçon étant mis dans leur premier état, les autres composants étant dans le second état, afin de pouvoir en outre orienter en hauteur par rapport au plan le/les faisceaux.

17. Antenne selon la revendication 15 ou 16, caractérisée en ce que les moyens de commande des composants actifs forment moyens de conformation et de commutation entre au moins un premier faisceau et au moins un second faisceau, de façon que ladite antenne soit une antenne à commutation de faisceaux.

18. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle est dans un réseau de télécommunication civil public ou privé.

19. Station de base d'un système de radiocommunication avec des stations mobiles, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins une antenne à commutation de faisceaux selon la revendication 17 ou 18.

1/8

FIG.1

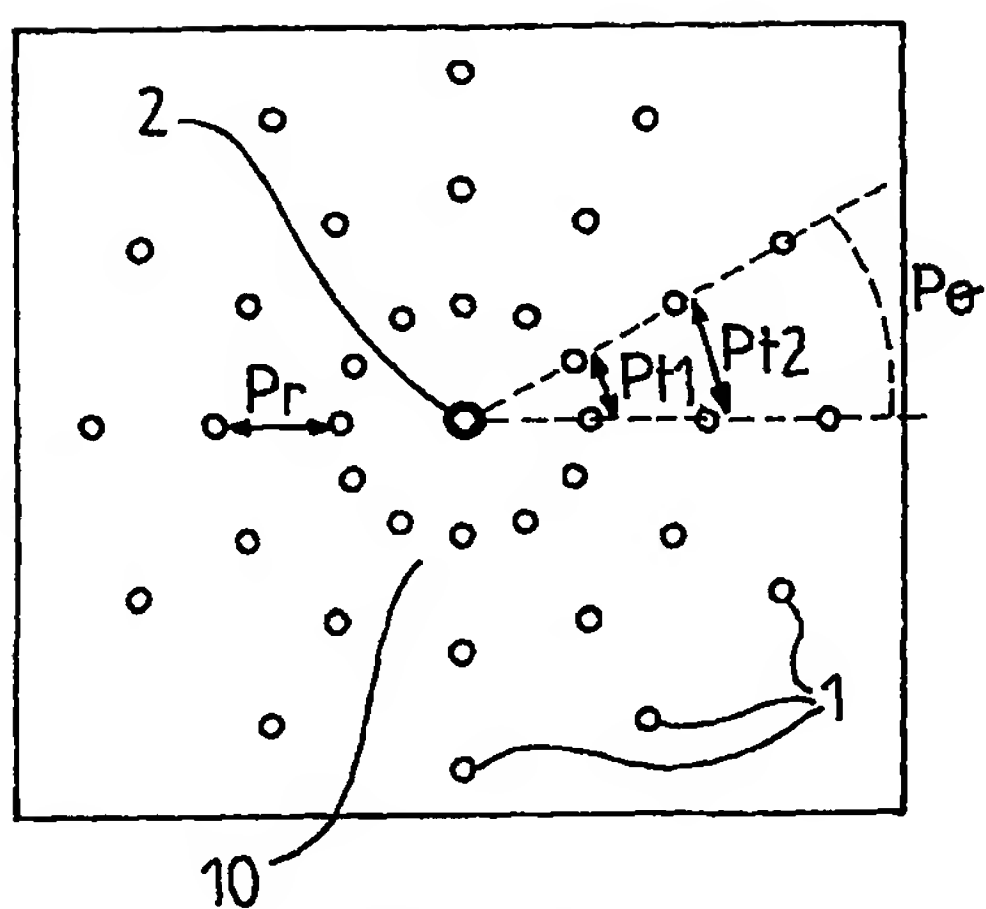
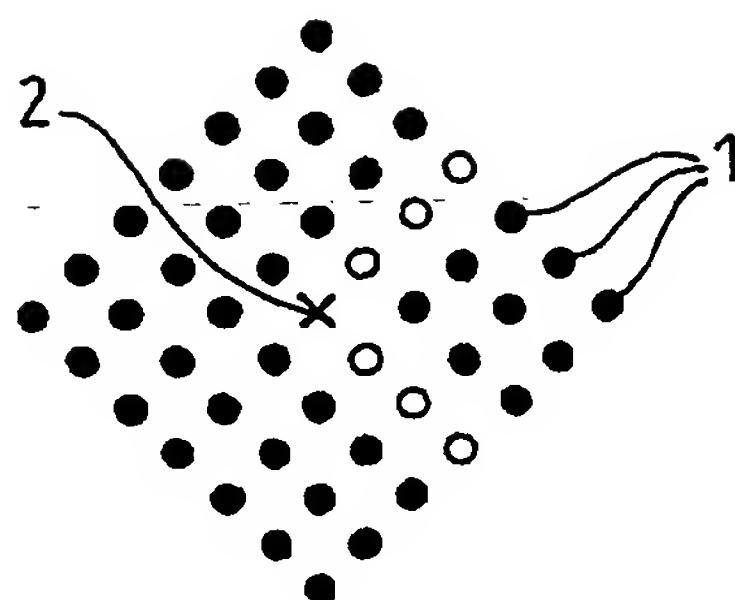


FIG.2

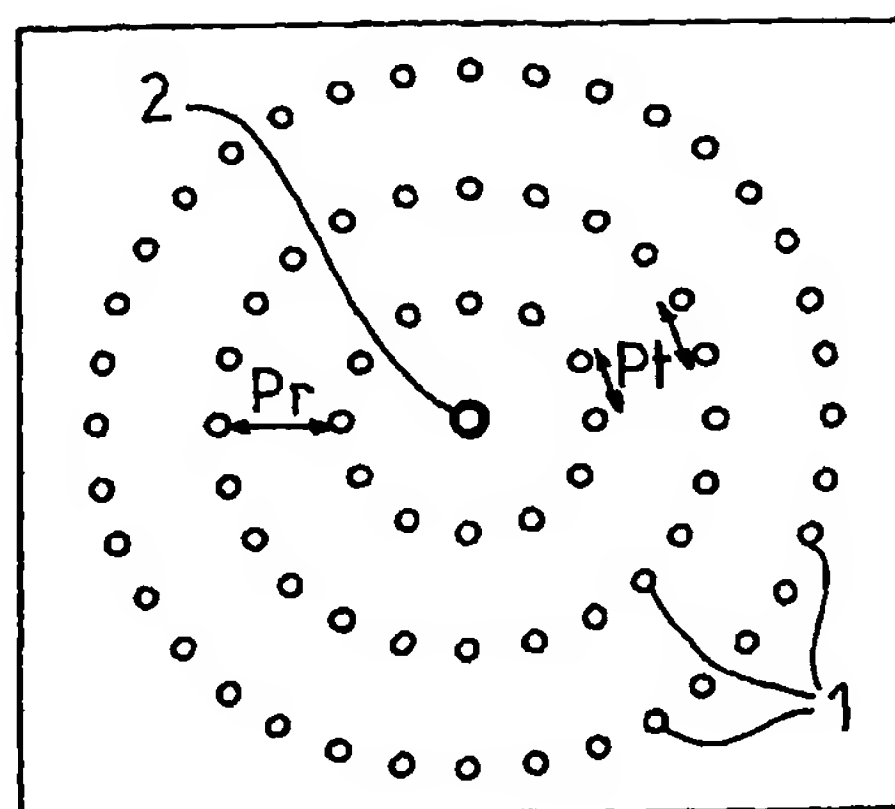


FIG.3

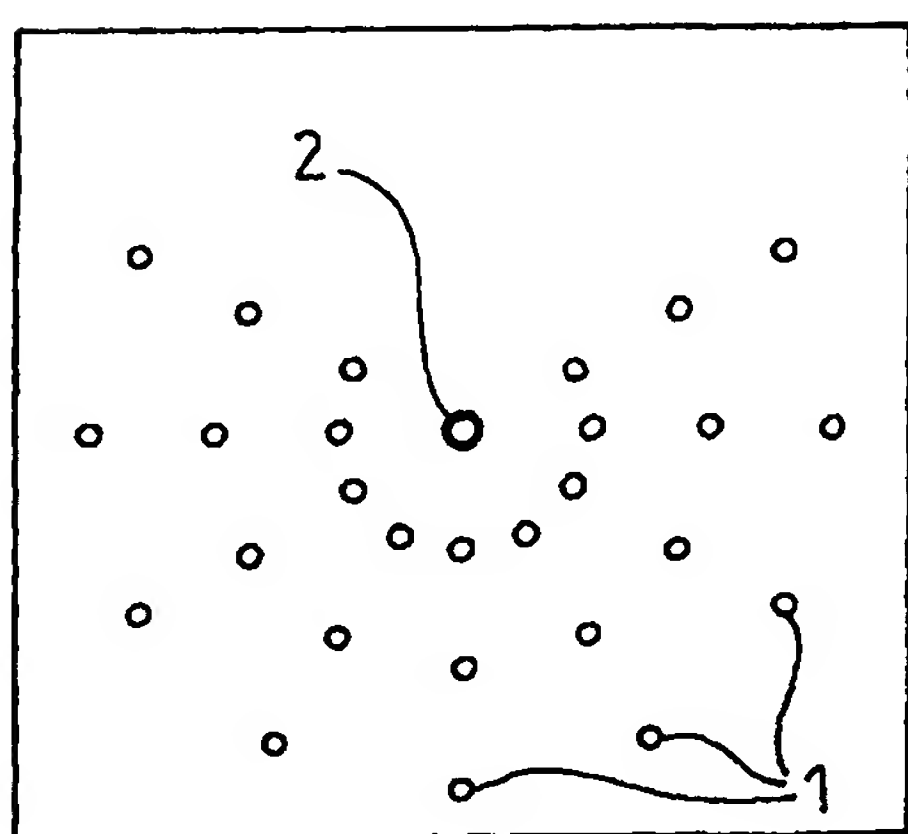


FIG.4

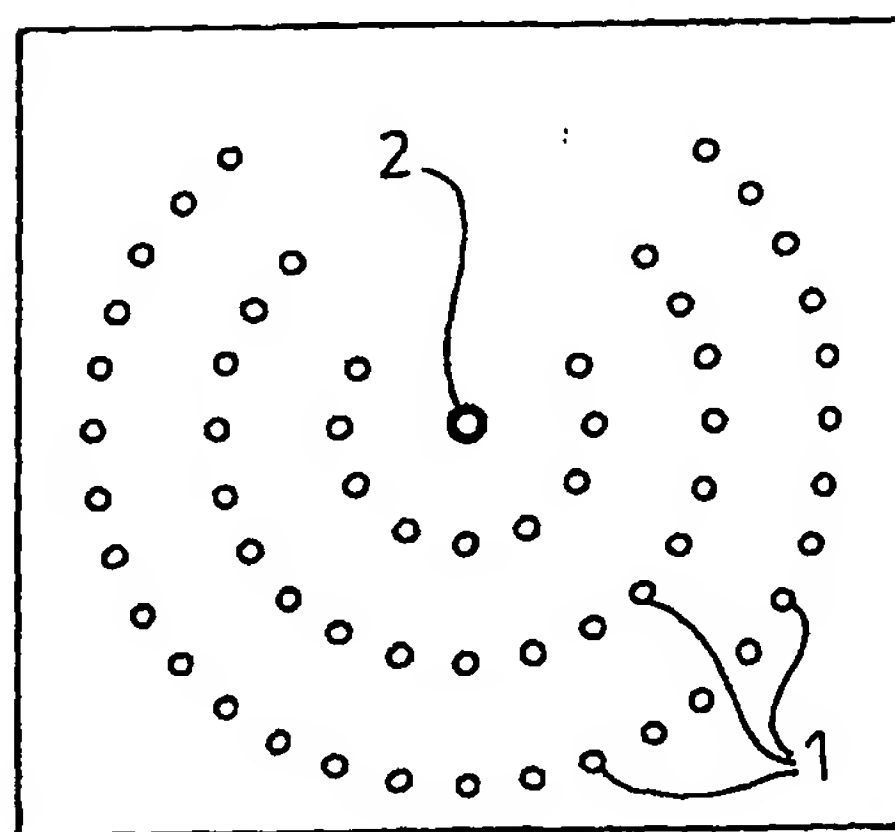


FIG.5

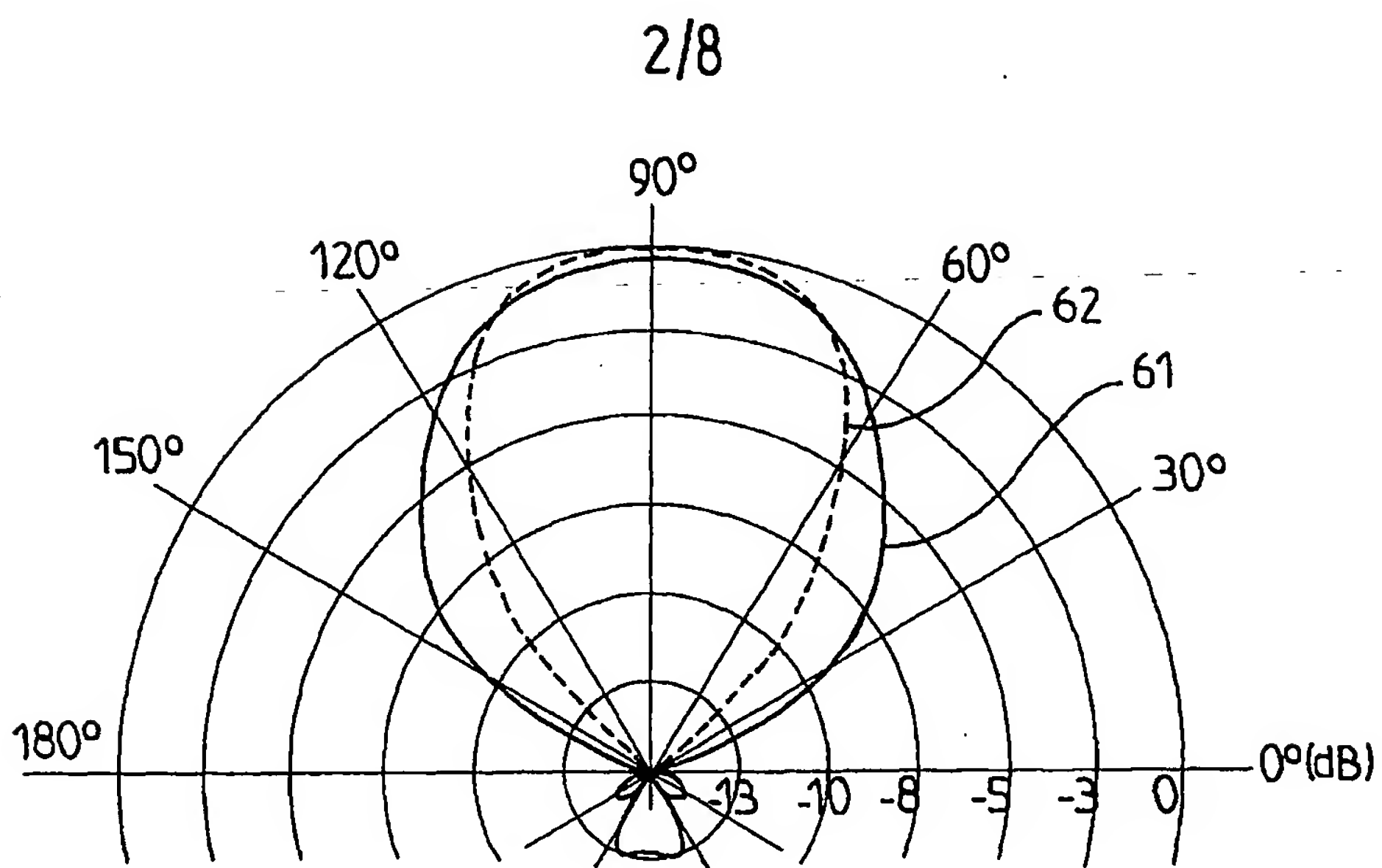


FIG. 6

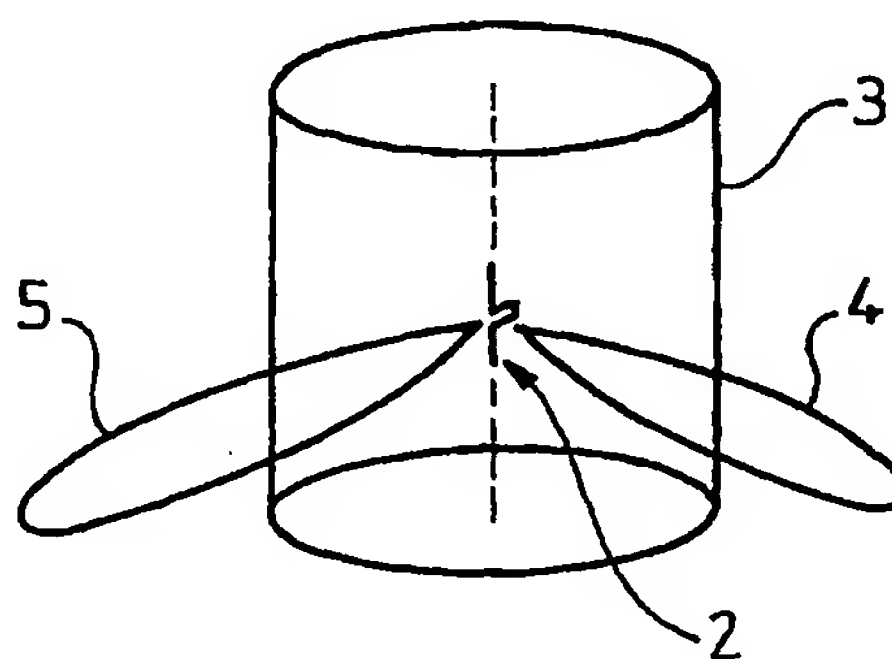


FIG. 7

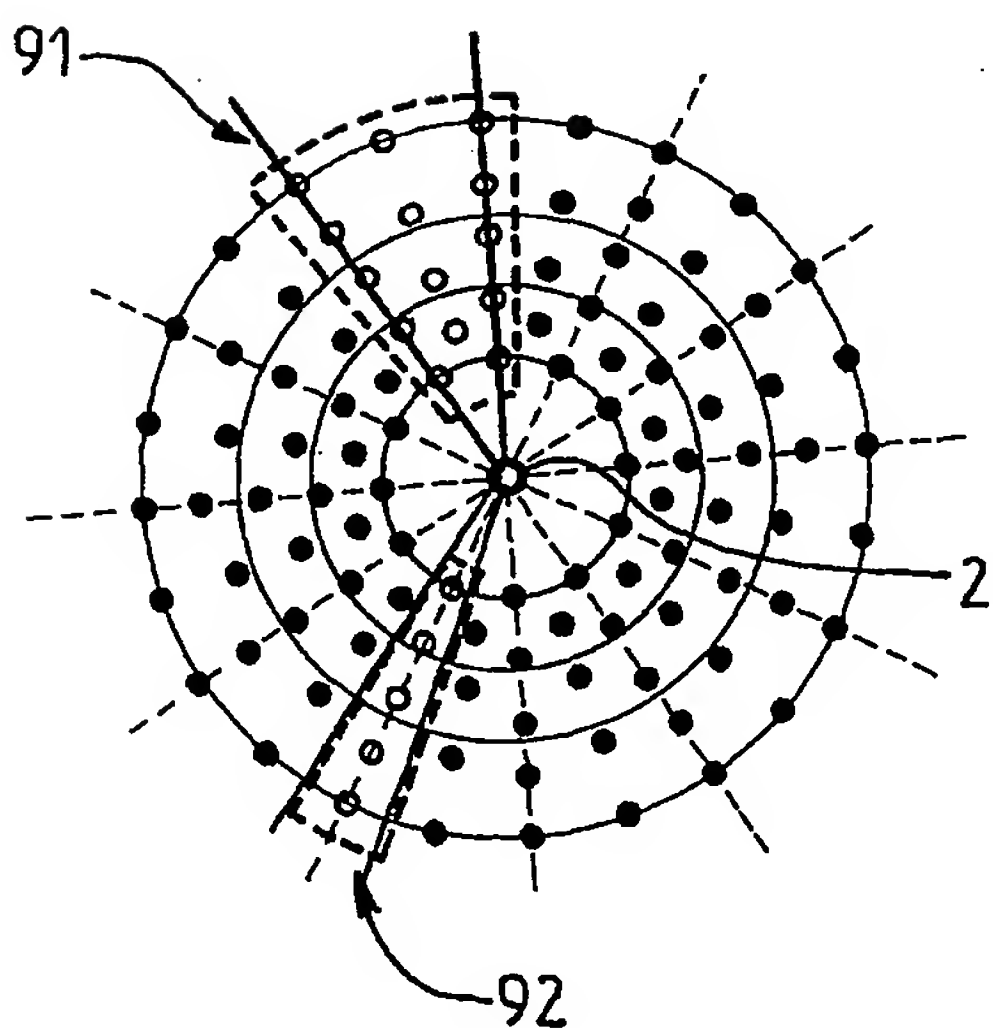


FIG. 9

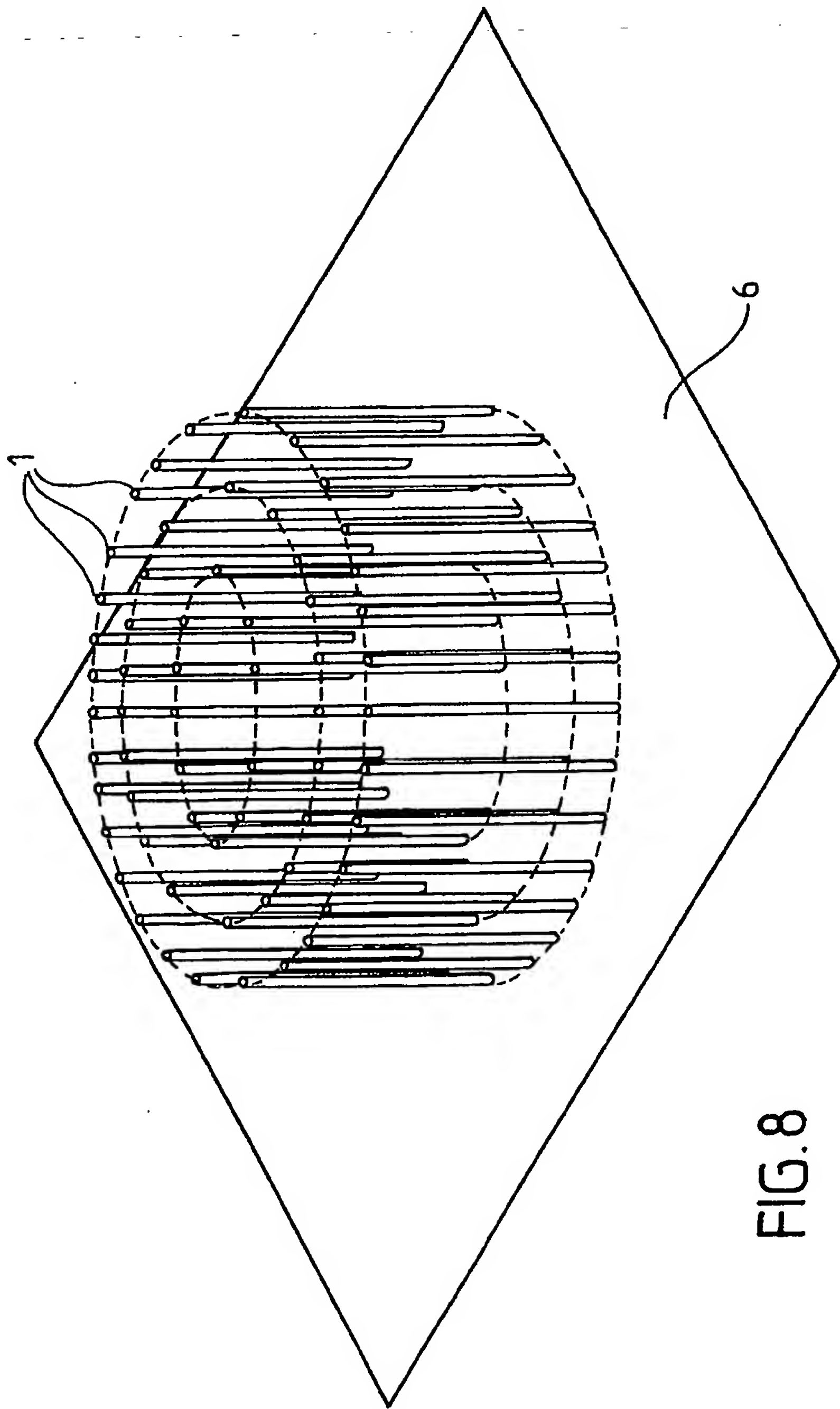


FIG. 8



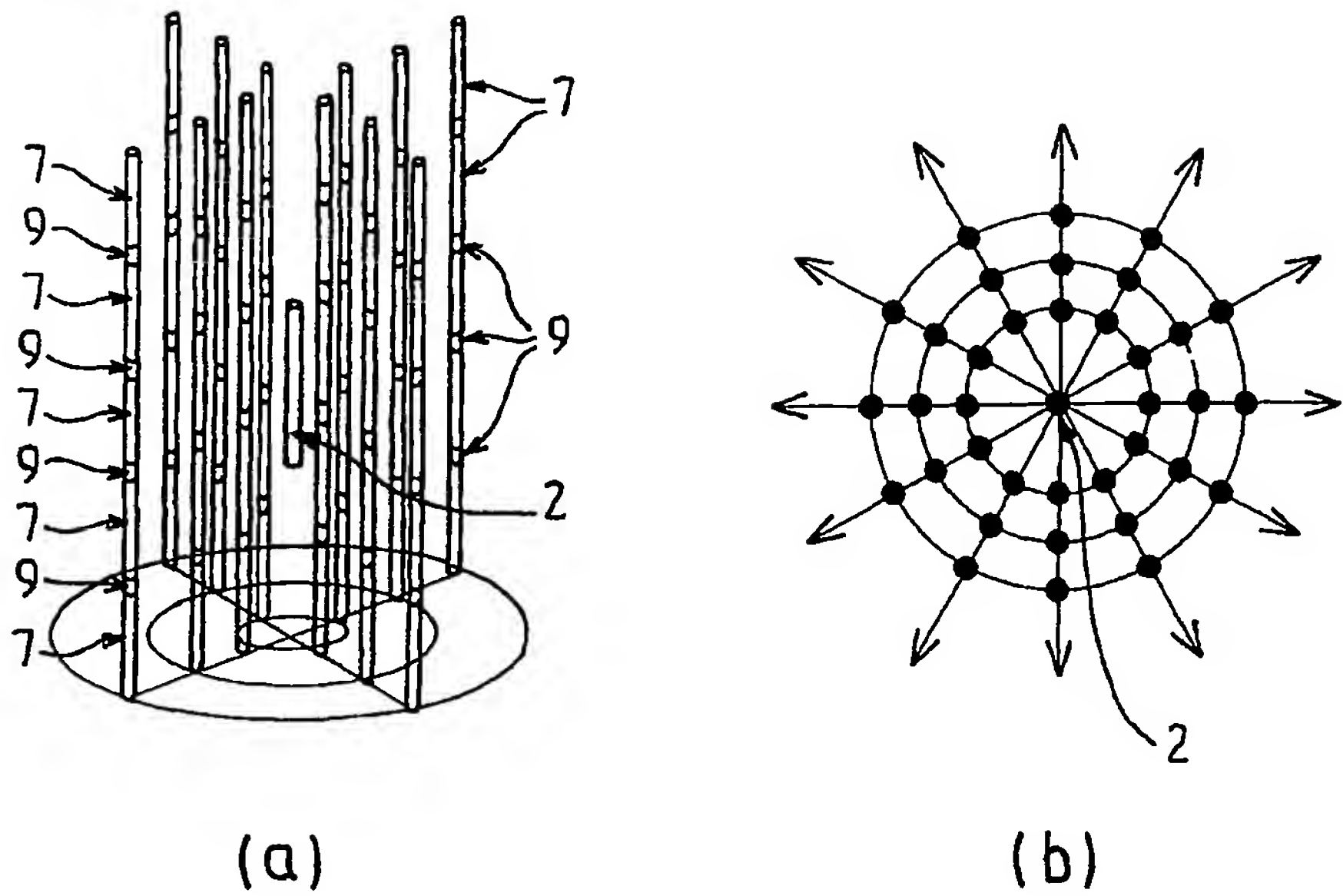


FIG.10

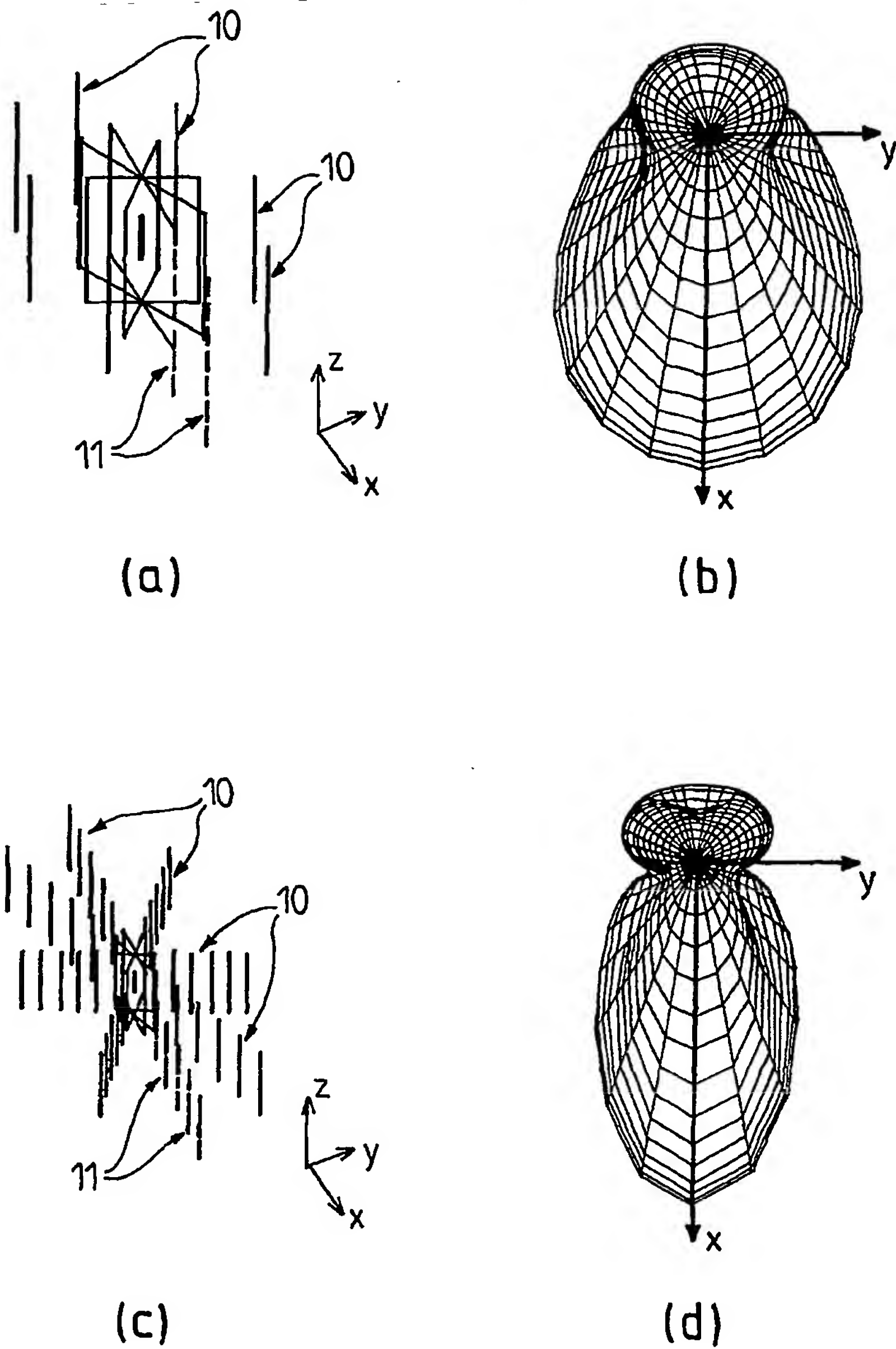


FIG.11

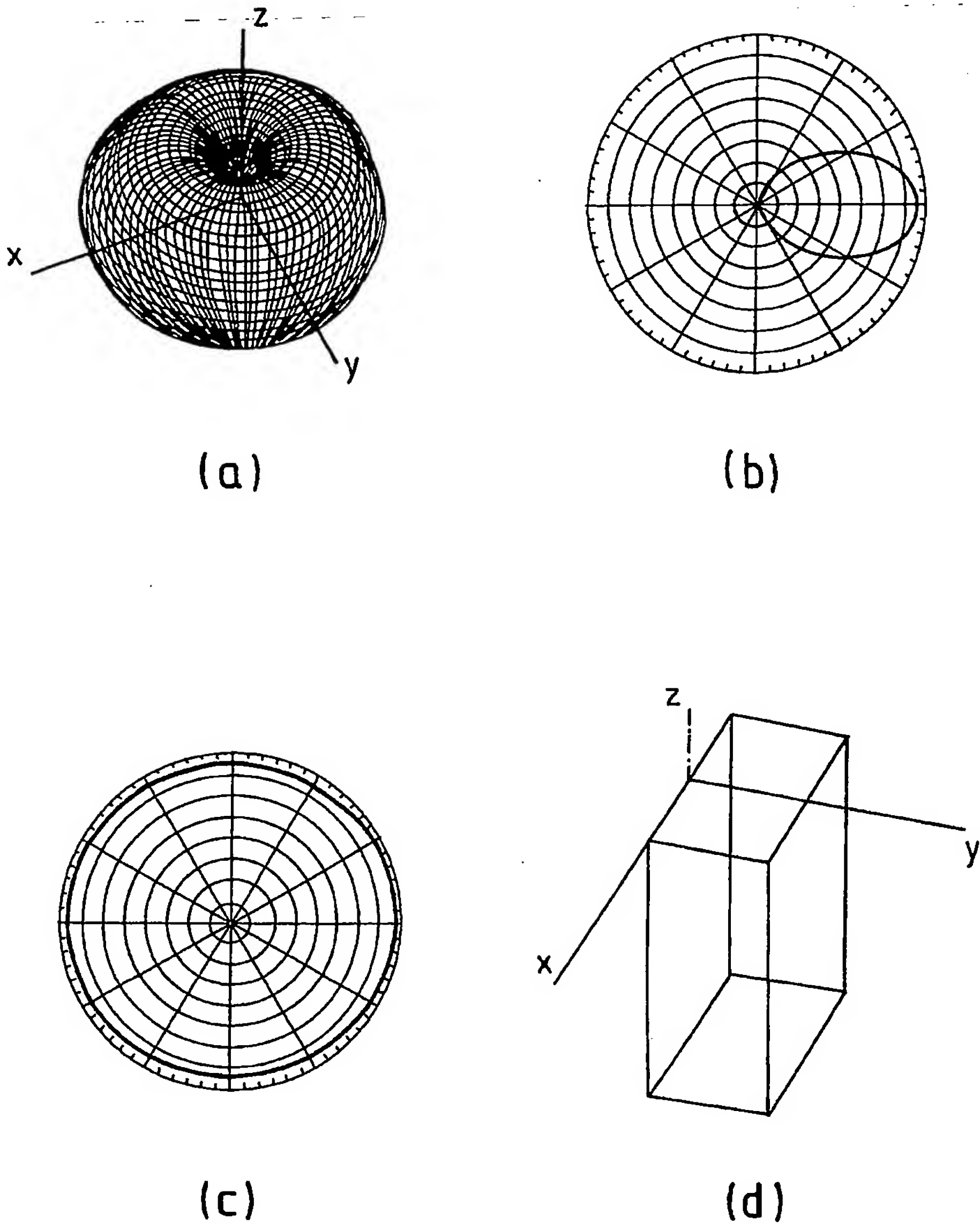
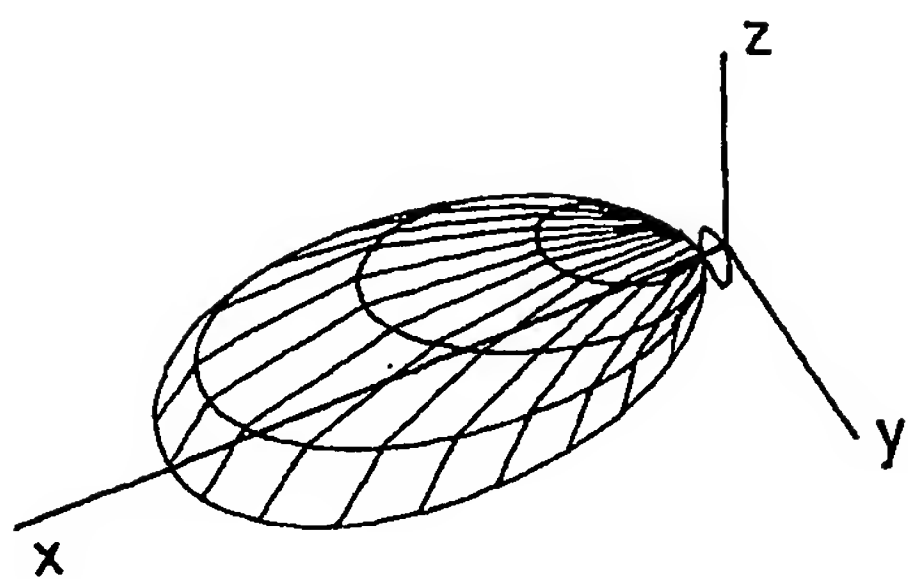
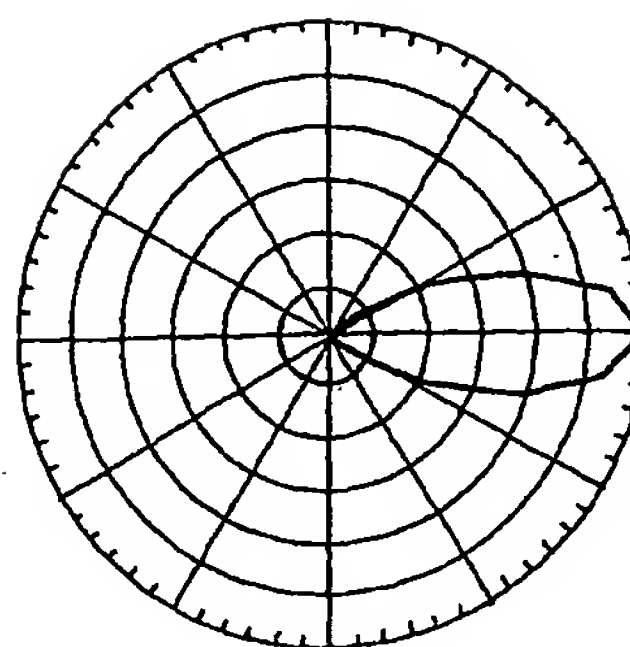


FIG.12

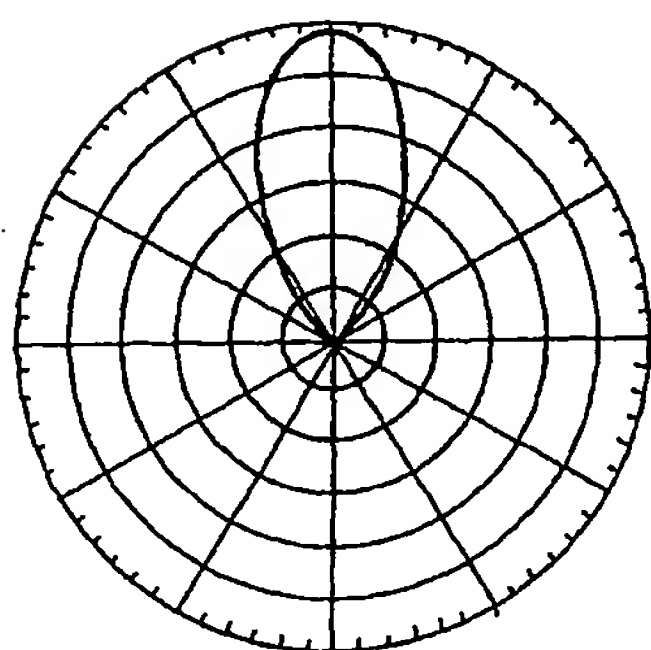
7/8



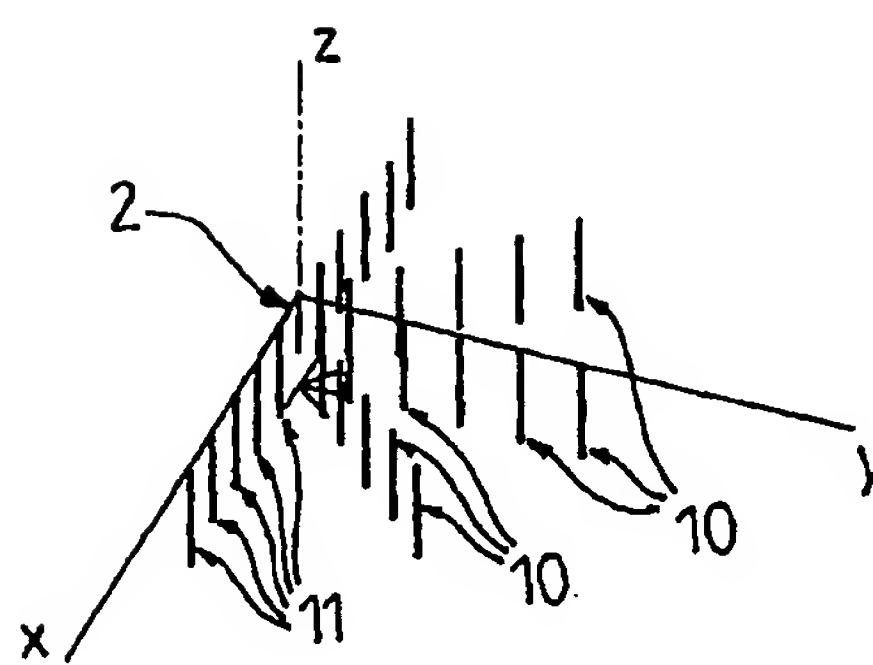
(a)



(b)



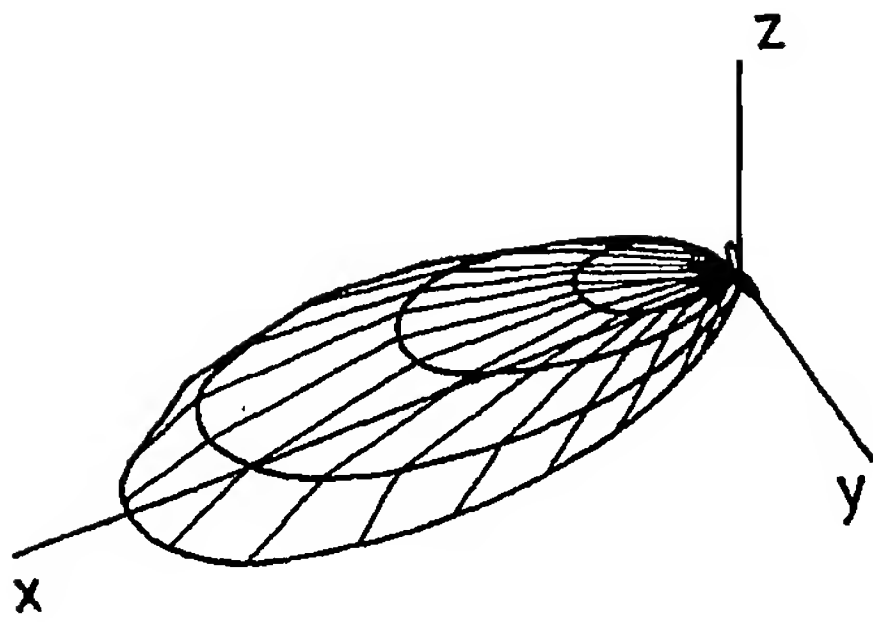
(c)



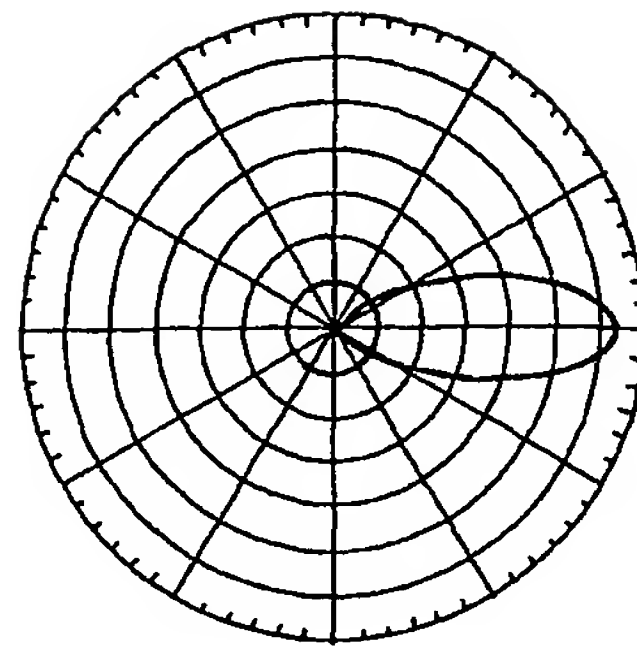
(d)

FIG.13

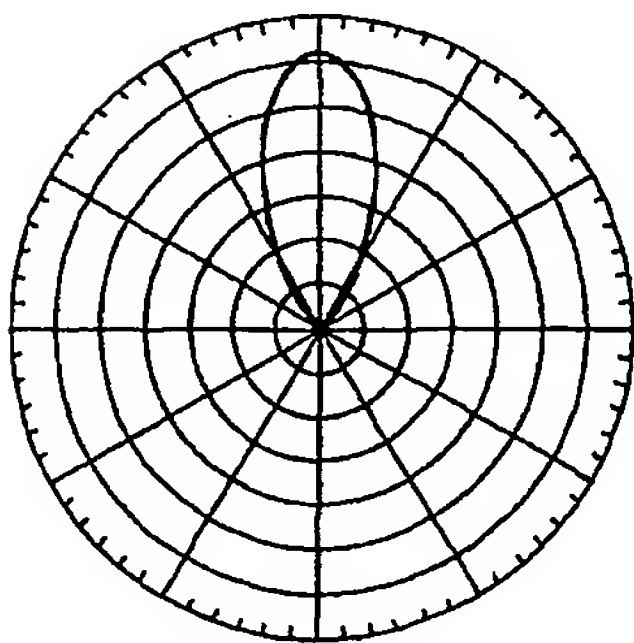
8/8



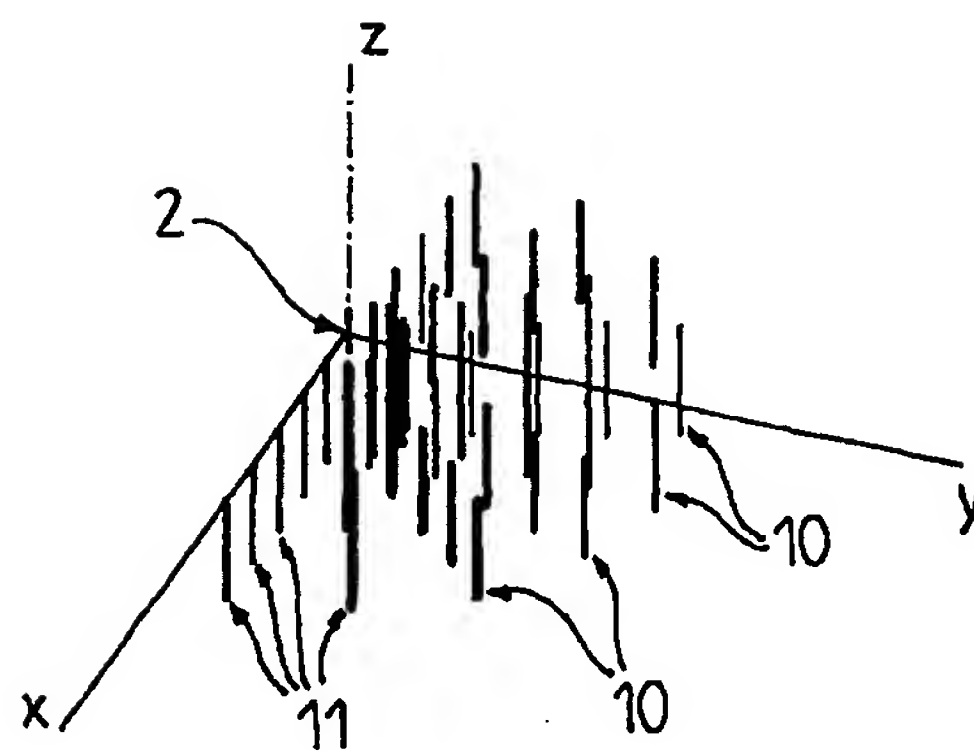
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG.14

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR2004/050622

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01Q15/00 H01Q3/44 H01Q19/28 H01Q3/46

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01Q

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No
Y	US 3 560 978 A (HIMMEL LEON ET AL) 2 February 1971 (1971-02-02)	1
A	the whole document	2-19
Y	POILASNE G ET AL: "ACTIVE METALLIC PHOTONIC BAND-GRAP MATERIALS (MPBG): EXPERIMENTAL RESULTS ON BEAM SHAPER" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 48, no. 1, January 2000 (2000-01), pages 117-119, XP000908643 ISSN: 0018-926X	1
A	US 4 700 197 A (MILNE ROBERT) 13 October 1987 (1987-10-13) abstract	1-19
	-/-	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex

\* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 May 2005

Date of mailing of the international search report

31/05/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P B 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax. (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Wattiaux, V



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/050622

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>EP 1 111 718 A (NIPPON ELECTRIC CO)  27 June 2001 (2001-06-27)  column 1, line 13 - line 41  column 10, line 45 - column 11, line 2;  figures 12,17</p> <p>-----</p>	1-19

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/050622

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3560978	A	02-02-1971	BE 749080 A1	19-10-1970
			DE 1953443 A1	27-05-1970
			ES 373060 A1	16-11-1971
			FR 2022375 A5	31-07-1970
			GB 1275579 A	24-05-1972
			JP 49032239 B	28-08-1974
			SE 355270 B	09-04-1973
US 4700197	A	13-10-1987	CA 1239223 A1	12-07-1988
			DE 3579650 D1	18-10-1990
			EP 0172626 A1	26-02-1986
			JP 1764927 C	11-06-1993
			JP 4053322 B	26-08-1992
			JP 61025304 A	04-02-1986
EP 1111718	A	27-06-2001	JP 3491682 B2	26-01-2004
			JP 2001185947 A	06-07-2001
			AU 7245100 A	28-06-2001
			DE 60001709 D1	24-04-2003
			DE 60001709 T2	18-12-2003
			EP 1111718 A2	27-06-2001
			US 2001005181 A1	28-06-2001